

Universidade Federal do Rio de Janeiro

**MICROBIALITOS DA LAGOA PITANGUINHA,  
ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL.**

**Cynthia Moreira Damazio-Iespa**

Rio de Janeiro  
2012



UFRJ

**MICROBIALITOS DA LAGOA PITANGUINHA, ESTADO DO RIO DE JANEIRO,  
BRASIL.**

**Cynthia Moreira Damazio-Iespa**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Doutor em Ciências (Geologia).

Orientadores:  
Leonardo Borghi  
Loreine Hermida da Silva e Silva

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2012

MICROBIALITOS DA LAGOA PITANGUINHA, ESTADO DO RIO DE JANEIRO,  
BRASIL.

Cynthia Moreira Damazio-Iespa

Orientadores: Leonardo Borghi  
Loreine Hermida da Silva e Silva

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro –UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Geologia).

Aprovada por:

---

Presidente: Dr<sup>a</sup>. Maria Dolores Wanderley, UFRJ

---

Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos, MN-UFRJ

---

Dr. Narendra Kumar Srivastava, UFRN

---

Dr<sup>a</sup>. Jane Nobre Lopes, CPRM

---

Dr<sup>a</sup>. Norma Maria da Costa Cruz, CPRM

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2012

DAMAZIO-IESPA, Cynthia Moreira

**Microbialitos da lagoa Pitanguinha, Estado do Rio de Janeiro, Brasil.** / Cynthia Moreira Damazio-Iespa - Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2012.

xv, 100f., anexos, 29,7cm

Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós Graduação em Geologia, 2012.

Orientadores: Leonardo Borghi & Loreine Hermida da Silva e Silva

1. Microbialitos recentes 2. Microfácies microbianas carbonáticas – Tese de Doutorado. I. Leonardo, Borghi & Loreine, Hermida da Silva e Silva. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós Graduação em Geologia. III. Microbialitos da lagoa Pitanguinha, Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

## AGRADECIMENTOS

- ❖ Ao meu marido (Anderson Andrade Cavalcanti Iespa) pelo seu amor, compreensão, incentivo e ajuda em todas as etapas deste trabalho.
- ❖ À ANP através do PRH/MCT 18 pelo auxílio cedido através da bolsa.
- ❖ Aos professores Leonardo Borghi e Loreine Hermida da Silva e Silva pelo auxílio, confiança e orientação neste e em outros trabalhos.
- ❖ À Sr<sup>a</sup> Cristina B. Pinto da Secretaria do Programa de Pós-graduação em Geologia pela paciência e ajuda.
- ❖ Ao Sr Nelson Santos da Coordenação de Projetos pela colaboração e compreensão durante todo o desenvolvimento deste trabalho.
- ❖ A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

A Deus por tornar possível a realização desse trabalho.  
Ao meu filho (Yago Moreira Damazio Iespa) pelo seu amor e  
inspiração. Aos meus pais (Maria Ester Moreira Damazio e  
Mauro Sergio Vetere Damazio), aos meus sobrinhos  
(Jhonathan Damazio Porto, Natan Porto, Karolina Porto,  
Gabriel Fonseca, Alexandre Fonseca, Vitor Fonseca e Maria  
Eduarda Iespa) e as irmãs (Jeniffer Damazio Porto e Kelly  
Teixeira Damazio) pelo incentivo e compreensão. Aos  
familiares (Eduardo Iespa Filho, Yeda Andrade Cavalcanti  
Iespa, Rosângela Moreira, Eduardo Iespa Neto, Vanessa Iespa  
Fonseca, Natan Rubens Damazio, Alex Fonseca e Eliane  
Braga Iespa) pelo incentivo e amizade e aos amigos  
(Alexandre Braga e Thiago Carelli) pela amizade e ajuda.

## RESUMO

### MICROBIALITOS DA LAGOA PITANGUINHA, ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL.

Cynthia Moreira Damazio-Iespa

Orientadores: Leonardo Borghi  
Loreine Hermida da Silva e Silva

Resumo da Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Geologia).

A lagoa Pitanguinha, localizada na Região dos Lagos, Estado do Rio de Janeiro, apresenta um expressivo registro de esteiras microbianas e microbialitos carbonáticos, que se revelam importantes para o entendimento de processos e parâmetros ambientais na origem de microbialitos pretéritos, bem como de suas características do ponto de vista geológico de reservatórios para hidrocarbonetos; haja vista as recentes descobertas de petróleo no intervalo Pré-sal da bacia de Santos, em reservatórios dessa natureza. O objetivo da Tese foi caracterizar microfácies carbonáticas do complexo biogênico estromatólito, trombólito e oncóide recente da lagoa Pitanguinha, bem como fazer sua associação com os parâmetros ambientais, microbiológicos, morfológicos (estrutura em mesoescala) e caracterizar o espaço poroso para relacioná-la como potencial rocha reservatório. O estudo petrográfico das estruturas carbonáticas permitiu a caracterização de quatro microfácies MM1, MM2, MM3 e MM4 que correspondem a quatro períodos distintos do crescimento das estruturas. Microfácies MM1 é constituída por tubos de serpulídeos, bioclastos e calcita; na Microfácies MM2 observa-se os processos de dissolução e bioerosão; já a Microfácies MM3 apresenta microlaminações carbonáticas associada aos bioclastos e peloides; MM4 é dominada por microlaminações contínuas e carbonáticas com micro-oncoides e microestromatólitos. Verificou-se que as cianobactérias filamentosas produziram laminações e as cocoides os peloides. Pode-se observar que a MM2 apresenta o maior espaço poroso seguido das microfácies MM1, MM3 e MM4.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microbialitos, estromatólitos, trombólitos, oncoides, lagoa Pitanguinha

**ABSTRACT**MICROBIALITES OF THE PITANGUINHA LAGOON, STATE OF RIO DE JANEIRO,  
BRAZIL

Cynthia Moreira Damazio-Iespa

Orientadores: Leonardo Borghi  
Loreine Hermida da Silva e Silva

*Abstract* da Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Geologia).

Pitanguinha lagoon is located in the Região dos Lagos, state of Rio de Janeiro and has an expressive record of microbial mats and carbonate microbialites, which are important for understanding processes and environmental parameters at the origin of past microbialites, as well as their characteristics in terms of geological reservoirs to hydrocarbons, considering the recent oil discoveries in the range of pre-salt Santos Basin, in such reservoirs. The aim of the Theses was to characterize the complex biogenic carbonate microfacies stromatolite, thrombolytic and oncoid recent Pitanguinha lagoon, as well as to their association with environmental parameters, microbiological, morphological (mesoscale structure) and to characterize the pore space as they relate to potential reservoir rock. The petrographic study of carbonate structures allowed the characterization of four microfacies MM1, MM2, MM3 and MM4 corresponding to four distinct periods of growth structures. Microfacies MM1 consists of tubes of serpulids, bioclasts and calcite; Microfacies in MM2 there processes of dissolution and bioerosion MM3 Microfacies microlamination features associated with the carbonate bioclasts and peloids; MM4 microlamination is dominated by continuous carbonaceous micro-oncoids and microstromatolites. It was found that the filamentous cyanobacteria produce laminations and the cocoides produce the peloids. It may be noted that MM2 has the largest pore space followed by microfacies MM1, MM3 and MM4.

KEYWORDS: Microbialite, stromatolite, thrombolite, oncoid, Pitanguinha lagoon.

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2012



## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	v
DEDICATÓRIA.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE QUADROS.....	xiv
LISTA DE TABELAS.....	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Apresentação.....	1
1.2 Objetivo.....	4
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
2.1 Estações de coleta.....	5
2.2 Métodos.....	14
3 GEOMICROBIOLOGIA.....	17
4 MICROBIALITOS.....	19
4.1 Esteiras microbianas.....	20
4.2 Estromatólitos.....	21
4.3 Trombólitos.....	25
4.4 Oncóides.....	27
5 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO.....	29
6 RESULTADOS.....	34
6.1 Análise físico-química.....	34
6.2 Descrição dos microbialitos.....	36
6.3 Análise biológica dos microbialitos.....	44
6.4 Microfácies dos microbialitos.....	52
6.4.1 Microfácies MM1.....	52
6.4.2 Microfácies MM2.....	54
6.4.3 Microfácies MM3.....	55
6.4.4 Microfácies MM4.....	57
6.5 Porosidade nos microbialitos.....	59
6.6 Análise isotópica dos microbialitos.....	66

7 DISCUSSÃO.....	67
7.1 Parâmetros físico-químico e ambientais.....	67
7.2 Microbialitos.....	68
7.3 Microfácies microbianas.....	69
7.4 Porosidade.....	71
7.5 Isótopos $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ .....	72
7.6 Organismos associados.....	73
8 CONCLUSÕES.....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

ANEXO A- Artigo 1 publicado na Revista de Geologia, UFC, CE.

ANEXO B - Artigo 2 publicado no livro Cenários da Vida.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estromatólito domal da lagoa Salgada (à esquerda) análogo aos estromatólitos do intervalo do Pré-sal (à direita) (Formigli, 2008).....	2
Figura 2 - Mapa da Região dos Lagos, indicando a localização da lagoa Pitanguinha (seta).....	6
Figura 3 - Imagem de satélite com a localização da lagoa Pitanguinha (Google Earth, 2008).....	6
Figura 4 - Imagem de satélite da lagoa Pitanguinha (Google Earth, 2008) com a localização das sete estações de coleta.....	8
Figura 5 - Vista geral da borda sul da lagoa Pitanguinha.....	10
Figura 6 - Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 1, detalhe para os estromatólitos estratiformes encontrados nesta estação.....	10
Figura 7 - Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 2, detalhe para a espuma de crisófitas formada na borda na lagoa.....	11
Figura 8 - Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 3, detalhe para o local onde foram coletados os oncoides (seta).....	11
Figura 9 - Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 4, detalhe para o local onde foram coletados os estromatólitos estratiformes.....	12
Figura 10 - Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 5, detalhe para o local onde foram coletados os trombólitos e os estromatólitos estratiformes (seta).....	12
Figura 11 - Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 6, detalhe para o local onde foram coletados os oncoides (seta).....	13
Figura 12 - Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 7, detalhe para o local onde são encontrados os trombólitos (seta).....	13
Figura 13 - Evolução dos cordões litorâneos ao sul da lagoa de Araruama segundo Coe Neto (1984). 1-Rocha Cristalina (Gnaisses); 2-Depósitos arenosos Pré-flandrianos; 3-Depósitos lagunares; 4-Cordão Pleistocênico; 5-Lagunas; 6-Cordão Holocênico.....	31
Figura 14 - Mapa geológico do quaternário costeiro da Restinga de Massambaba (CPRM,1997).....	32
Figura 15 - Curvas esquemáticas médias de variações dos níveis relativos do mar ao longo da costa central brasileira e ao longo das costas Atlântica e do Golfo do México dos Estados Unidos durante os últimos 7.000 anos (Martin <i>et al.</i> , 1987).....	32
Figura 16 - Modelo geral de evolução geológica das planícies da costa central brasileira, durante o Quaternário (Sugiuo, 2001).....	33
Figura 17 - Trombólito da estação #2 <i>in loco</i> na lagoa Pitanguinha.....	37
Figura 18 - Aspecto geral do trombólito da estação #5 da lagoa Pitanguinha.....	38
Figura 19 - Corte lateral de uma amostra de trombólito da estação #7 da lagoa Pitanguinha, detalhe para a coquina na base da estrutura.....	38
Figura 20 - Detalhe para os poros formados pela boiturbação dos serpulídeos em uma amostra de trombólito da Estação #7 da lagoa Pitanguinha.....	39
Figura 21 - Estromatólitos estratiformes da estação #1 <i>in loco</i> na lagoa Pitanguinha, sobre as esteiras microbianas.....	40
Figura 22 - Estromatólito estratiforme da lagoa Pitanguinha estação # 2 (vista superior).....	40
Figura 23 - Estromatólito estratiforme da lagoa Pitanguinha estação # 2 (vista	41

	inferior), detalhe para os bioclastos aderidos ao microbialito (seta vermelha) e as laminações de calcita (seta amarela).....	
Figura 24 -	Oncoides e conchas de bivalvios <i>in loco</i> na estação #3 na lagoa Pitanguinha, sobre a esteira lisa.....	42
Figura 25 -	Oncoide da lagoa Pitanguinha da estação # 1 (vista superior).....	42
Figura 26 -	Oncoide da lagoa Pitanguinha da estação # 3 (vista inferior), detalhe para as conchas de <i>Anomalocardia brasiliana</i> Gmelin, 1791, aderidas ao microbialito (seta).....	43
Figura 27 -	Fotomicrografia da cianobactéria <i>Aphanothece halophytica</i> Hof & Frémy 1933, espécie predominante na base dos trombólitos da lagoa Pitanguinha.....	45
Figura 28 -	Fotomicrografia da cianobactéria <i>Schizothrix friesii</i> Gomont 1892, espécie filamentosa predominante no topo dos trombólitos da lagoa Pitanguinha.....	45
Figura 29 -	Fotomicrografia da cianobactéria <i>Cyanosarcina thalassia</i> Anagnostidis & Pantazidoua 1991, espécie esférica encontrada nos estromatólitos estratiformes da lagoa Pitanguinha.....	47
Figura 30 -	Fotomicrografia da cianobactéria <i>Lyngbya aestuarii</i> (Liebman) Gomont 1892, espécie filamentosa predominante nos estromatólitos estratiformes da lagoa Pitanguinha.....	47
Figura 31 -	Fotomicrografia da cianobactéria <i>Phormidium willei</i> (Gardner) Anagnostidis & Komárek 1988, espécie filamentosa encontrada nos estromatólitos estratiformes da lagoa Pitanguinha.....	48
Figura 32 -	Fotomicrografia da cianobactéria <i>Pseudocapsa dubia</i> Ercegovic 1925, espécie esférica encontrada nos estromatólitos estratiformes da lagoa Pitanguinha.....	48
Figura 33 -	Fotomicrografia da cianobactéria <i>Chroococcus minimus</i> (Keissler) Lemmermann 1904, espécie esférica presente nos oncoides da lagoa Pitanguinha.....	50
Figura 34 -	Fotomicrografia da cianobactéria <i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli 1849, espécie esférica encontrada nos oncoides da lagoa Pitanguinha.....	50
Figura 35 -	Fotomicrografia da cianobactéria <i>Entophysalis granulosa</i> Kützing 1843, espécie esférica predominante nos oncoides da lagoa Pitanguinha.....	51
Figura 36 -	Fotomicrografia da cianobactéria <i>Phormidium okenii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988, espécie filamentosa encontrada nos oncoides da lagoa Pitanguinha (seta).....	51
Figura 37 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) detalhe para as laminações (seta) encontradas na base dos trombólitos da estação #2.....	53
Figura 38 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) aspecto da microfacies detalhe para os bioclastos encontrados na base dos trombólitos da estação #6.....	53
Figura 39 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) detalhe para o tubo de serpulideo (seta) encontrado no topo dos trombólitos da estação #6.....	54
Figura 40 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) detalhe para os micro-oncoides encontrados no topo dos trombólitos da estação #7.....	55
Figura 41 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) detalhe para o gastrópodo alóctone reelaborado (seta), com matriz de carbonato encontrado no estromatólito estratiforme da estação #1.....	56

Figura 42 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) detalhe para a franja isópaca marinha de calcita nos grãos de quartzo (seta) encontrados no estromatólito estratiforme da estação #2.....	56
Figura 43 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) detalhe para o microestromatólito encontrado no interior do oncoide da estação #7.....	57
Figura 44 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) detalhe para a concha de gastrópodo envolto por uma laminação de calcita encontrado no oncoide da estação#1.....	58
Figura 45 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) detalhe para a porosidade seletiva intrapartícula em um foraminífero (seta) encontrada na microfácies MM1.....	60
Figura 46 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) detalhe para a porosidade não seletiva vugular (seta) encontrada na microfácies MM1....	60
Figura 47 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) detalhe para a porosidade seletiva escavação por bioerosão de serpulídeos (seta) encontrada na microfácies MM2.....	61
Figura 48 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) detalhe para a porosidade seletiva escavação por bioerosão de serpulídeos (seta) com preenchimento por bioclastos (foraminíferos) encontrada na microfácies MM2.....	62
Figura 49 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois paralelos) detalhe para a porosidade seletiva interpartícula (seta) encontrada na microfácies MM3..	63
Figura 50 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois paralelos) detalhe para a porosidade não seletiva vugular (seta) encontrada na microfácies MM3 e cristais de gipsita.....	63
Figura 51 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) mostrando detalhe para a porosidade seletiva interpartícula (seta) entre os microoncoídeos encontrada na microfácies MM4.....	64
Figura 52 -	Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) mostrando detalhe para a porosidade seletiva intrapartícula (seta) em um foraminífero encontrada na microfácies MM4.....	65
Figura 53 -	Correlação de imagens entre o corte vertical do trombólito da lagoa Pitanguinha da estação #7 e as fotomicrografias de uma lâminas petrográficas das microfácies microbianas (MM1 e MM2).....	70

**LISTA DE QUADROS**

Quadro1 - Localização das estações de coleta na lagoa Pitanguinha.....	9
--	---

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 -	Valores médios dos parâmetros físico-químicos determinados na lagoa Pitanguinha no período de março de 2008 a março de 2011...	34
Tabela 2 -	Análise química da água (Damazio, 2004).....	35
Tabela 3 -	Análise química da água (Damazio-Iespa, 2008).....	36
Tabela 4 -	Distribuição dos microbialitos ao longo da lagoa Pitanguinha.....	36
Tabela 5 -	Variação do tamanho dos poros na microfácies 1 dos microbialitos da Lagoa Pitanguinha.....	59
Tabela 6 -	Variação do tamanho dos poros na microfácies 2 dos microbialitos da lagoa Pitanguinha.....	61
Tabela 7 -	Variação do tamanho dos poros na microfácies 3 dos microbialitos da lagoa Pitanguinha.....	62
Tabela 8 -	Variação do tamanho dos poros na microfácies 3 dos microbialitos da lagoa Pitanguinha.....	64
Tabela 9 -	Resultado dos Isótopos $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ dos microbialitos da lagoa Pitanguinha por microfácies.....	66

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

O termo fácies pode ser definido como uma massa de sedimento ou de rocha sedimentar caracterizada e distinguida das demais pela litologia, geometria estratal, estruturas sedimentares, petrografia, cores, fósseis e por atributos direcionais (Selley 1970; Reading, 1986 e Borghi, 2000).

As fácies podem ser classificadas em diversos tipos, uma delas seria a microfácies que é definida como variações horizontais e/ou verticais e a soma total das características mineralógicas, paleontológicas, textural, diagenéticas, geoquímicas e petrofísicas de um pacote de sedimentos perceptíveis, com o uso de microscópio e feito por meio de lâminas delgadas. Tais variações refletem diversidade de condições ambientais ou flutuações destas condições. Estudo de microfácies tem largo emprego na Geologia do Petróleo (Wilson, 1975; Mendes, 1984).

Outra definição para microfácies seria uma massa de sedimento ou rocha sedimentar caracterizada e distinguida das demais por atributos como litologia, mineralogia, microtextura, petrografia, microestruturas físicas e/ou biogênicas, microfósseis e conteúdo orgânico particulado observado através de técnicas de microscopia, somados a atributos como cor, fissilidade e variação estratal observados em escala megascópica (Carelli, 2010).

Os microbialitos, um tipo de rocha carbonática, é formado por depósitos minerais através de um processo de organomineralização e podem ser conhecidos também como microbialites, automicrita e organomicrita (Riding, 1991; Burne & Moore 1987; Reitner *et al.*, 1995).

Os microbialitos podem ser considerados tanto sedimentos (partículas) quanto rochas sedimentares biogênicas, associados ou não às esteiras microbianas que lhe dão origem (Ignaccolo *et al.*, 2004).

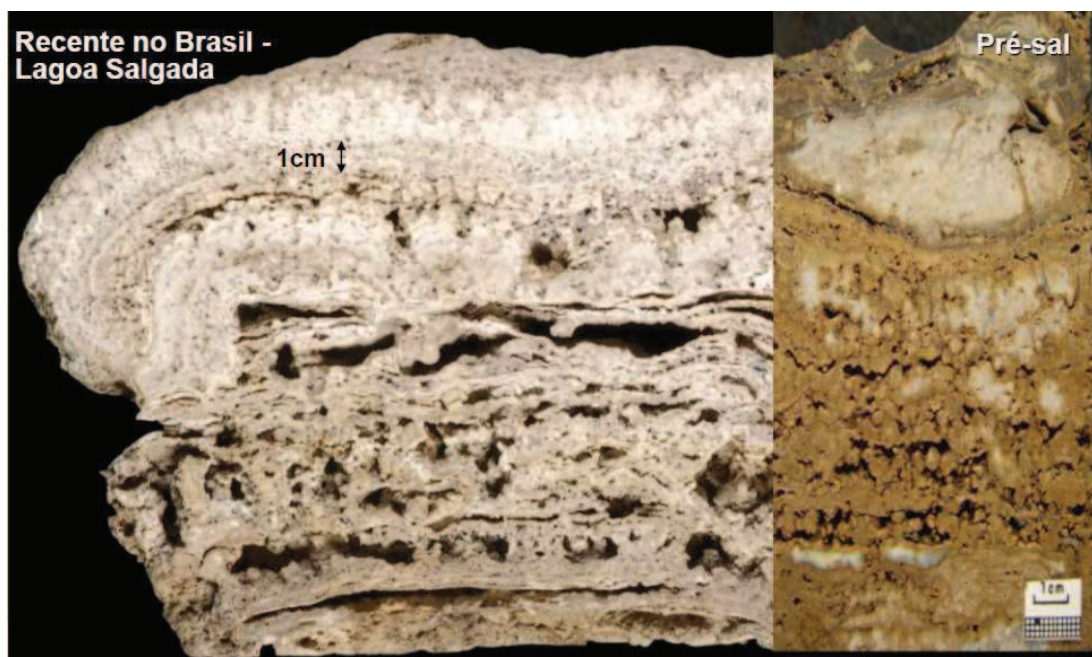
O estudo dos microbialitos, sob enfoque da Geomicrobiologia, vem despertando interesse na Geologia Sedimentar em virtude da percepção crescente de que existe uma forte interação microbiana nos processos de sedimentação não só carbonática, quanto também terrígena e evaporítica.



Os sistemas de poros em rocha carbonáticas são geralmente complexos em sua gênese e geometria. O estudo do espaço poroso em carbonatos consiste quase inteiramente nas regiões entre as partículas, na relação do tamanho e da forma dos poros e são de grande importância para o estudo da exploração dos hidrocarbonetos.

A porosidade pode ser considerada fabrica seletiva e não seletiva conforme o tipo de porosidade e elementos estruturais (Choquette & Pray 1970). Alguns exemplos de estruturas seletivas são interpartícula, intercristal, intrapartícula e fenestral. Já as não seletivas podem ser do tipo fraturada, vugular e canal. Ainda existem outros tipos de porosidades que podem ser fabricas seletivas ou não seletivas como, por exemplo, as relacionadas a perfuração, bioturbação e brecha.

Os estromatólitos recentes da lagoa Salgada (Figura 1), corpo aquático localizado no Rio de Janeiro a 230 km da área de estudo, são reconhecidos com análogo das rochas reservatórios do Pré-sal (Formigli, 2008). Entre as estruturas carbonáticas encontradas nestes reservatórios estão os estromatólitos, trombólitos e oncoides.



**Figura 1:** Estromatólito domal da lagoa Salgada (à esquerda) análogo aos estromatólitos do intervalo do Pré-sal (à direita) (Formigli, 2008).

Plexo, a associação de estromatólitos, trombólitos e oncoides constituem um desses elementos, que é uma denominação genérica de rede, encadeamento e entrelaçamento (Ferreira, 1986). O Plexo Estromatólito–Trombólito–Oncoide (PETO) é uma estrutura formada a partir de processos diferentes de precipitação carbonática

realizado por cianobactérias, associado a fatores como salinidade, circulação de água e bioerosão gerando microfácies carbonáticas distintas que estão interligadas (Iespa, 2010).

A relevância do estudo reside no conhecimento de suas heterogeneidades em micro e mesoescala, particularmente às relacionadas à sua porosidade, em função do potencial desse Plexo Estromatólito–Trombólito–Oncoide em constituir-se em um análogo aos reservatórios petrolíferos.

A raridade de análogos recentes torna as lagoas fluminenses uma das poucas localidades de investigação de formação destas estruturas ainda em associação com esteiras microbianas, o que se constitui em mais uma relevância do estudo para a exploração de petróleo (Damazio-Iespa & Borghi, 2008).

A motivação para realização desse trabalho está relacionada à presença rara das estruturas estromatolíticas holocênicas no Brasil, aliada às condições físico-químicas extremas da lagoa.

## 1.2 Objetivo

O estudo teve como objetivo (1) caracterizar as microfácies carbonáticas e a sua distribuição espacial; (2) associar os parâmetros (paleo) ambientais e (paleo) ecológicos às microfácies; (3) caracterizar a distribuição estratigráfica das microfácies (microestratigrafia), nos complexos biogênicos estromatólito–trombólito–oncoide recentes; (4) caracterizar o espaço poroso; (5) caracterizar a composição cianobacteriana dos microbialitos; (6) relacionar parâmetros ambientais e ecológicos com propriedades sedimentológicas dos microbialitos, que expliquem, em termos de microfácies e microestratigráficos, as distribuições de propriedades importantes para auxiliar a caracterização da qualidade de rochas reservatório.

## 2 MATERIAS E MÉTODOS

### 2.1 Estações de coleta

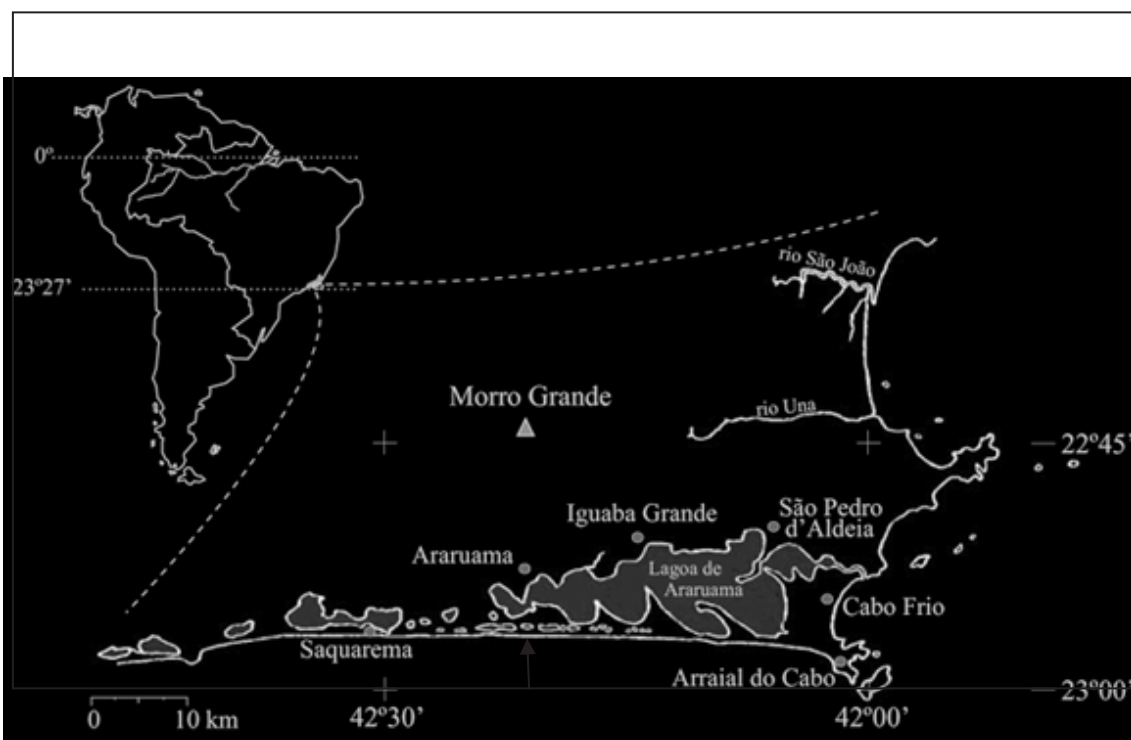
A lagoa Pitanguinha (figuras 2 e 3) possui aproximadamente área de 0,55 km<sup>2</sup>, sendo 1,5 km de comprimento e 0,75 km de largura, está localizada entre as latitudes 22°55'42" e 22°56'00"S e longitudes 42°20'45" e 42°21'30"W, na Restinga de Massambaba, próximo ao município de Araruama. É cercada por salinas em mais de dois terços de seu perímetro, contendo marnéis em seu interior que a segmentam em vários pedaços (Primo & Bizerril, 2002).

O acesso lagoa Pitanguinha inicia-se pela cidade do Rio de Janeiro com 72,6 km da BR-101, seguindo-se por 21,8 km da RJ-124, depois por mais 25 km da RJ-128 e, posteriormente, pela RJ-102 de 4,5 km até as lagoas que estão localizadas a direita desta rodovia em praia Seca (Figura 3).

A lagoa Pitanguinha está localizada no município de Araruama, sendo seu início dentro do conjunto residencial Condolan, até o seu ponto mais extremo, localizado no condomínio Village Palm Beach. A borda norte da lagoa, que está voltada para os condomínios, sofreu forte impacto da urbanização e da atividade salineira, enquanto que a borda sul apresenta-se mais preservada da ação antropogênica (Damazio-Iespa, 2008).

O clima é semi-árido, com grande déficit no balanço precipitação-evaporação, sendo a evaporação maior que a precipitação e possuindo como vegetação característica à gramínea (Silva e Silva *et al.*, 2003). A temperatura do ar em média varia de 19° e 31° C e apresenta índice pluviométrico anual em torno de 1000 mm (Figura 4), com evaporação de 1.400 mm (Silva e Siva *et al.*, 2003).

Os ventos têm papel importante na mistura e na circulação das águas, os mais fortes sopram na direção nordeste, predominando durante todo o ano com velocidades de 4 a 6 m/s (Fonseca, 2002). Apresenta uma circulação atmosférica liderada pela ação dos alísios de sudeste mantendo um clima ensolarado com pouca chuva (Lopes, 1988). Devido à baixa profundidade, a ação dos ventos produz uma agitação importante arrastando partículas finas em suspensão e uma homogeneização dos sedimentos depositados no fundo (Anjos, 1999).



**Figura 2:** Mapa da Região dos Lagos, indicando a localização da lagoa Pitanguinha (seta).



**Figura 3:** Imagem de satélite com a localização da lagoa Pitanguinha (Google Earth, 2008).

A área de restinga apresenta cobertura vegetal xerófila, chamada de mata de restinga, floresta estacional sub-caducifolia tropical esclerofila litorânea e cactáceas de grande porte. A vegetação de uma forma geral tem aspecto de um imenso jardim, com flores coloridas, em moitas densas de árvores baixas, separadas por alamedas de areias

brancas. As frutas da restinga como o abricó, caju, maracujá, pitanga, murici e bacopari participam da cultura alimentar dos pescadores (Barroso, 1987).

A vegetação do entorno é formada por gramíneas, cactáceas além de árvores frutíferas, com destaque para *Eugenia uniflora* Linnaeus (pitangueira), árvore responsável pelo nome da lagoa, vale destacar também a presença de *Hydrocotyle bonariensis* Commerson ex Lamark, 1789, cujo nome vulgar é erva capitão, planta perene, com caules glabros, rasteiros que habitam toda a zona litorânea, margens de canais de drenagem e terrenos alagadiços (Santos, 2004).

Existem cinco espécies de orquídeas que são nativas e específicas da restinga de Massambaba. Por ser esta região um ponto de inflexão da costa, representa o limite geográfico de distribuição de algumas espécies botânicas (Amador *et al.*, 1985). No fundo da laguna, certas bactérias, cianobactérias e diatomáceas chegam a formar “tapetes” (Primo & Bizerril, 2002).

Encontra-se ameaçada pelo avanço da urbanização e pela atividade salineira. A Lei Orgânica Municipal de Araruama Estado do Rio de Janeiro, da Câmara Municipal (1996) declarou como de “Preservação Permanente” o espelho d’água da lagoa Pitanguinha (Art. 180, I), além de classificá-la como “Área de Relevante Interesse Ecológico” (Art. 180, § 1º, II) (Riolagos, 2004).

Uma coleta piloto foi realizada, permitindo o reconhecimento e a determinação das estações de coleta. Sucessivamente, foram realizadas excursões trimestrais entre os anos de 2008 e 2011, para a coleta do material sedimentológico e aferição dos parâmetros físico-químicos e, assim, pode-se acompanhar as variações sazonais que ocorrem nas diferentes estações de coleta da lagoa. Foram estabelecidas sete estações de coleta no entorno da lagoa (Figura 4), sempre na borda norte, em virtude da presença de faixa de areia necessária para a formação das esteiras, inexistente na borda sul (Figura 5), distando entre si de aproximadamente 500 m, as quais foram marcadas com o auxílio de um receptor *Global Position System* (GPS) de acordo com o Quadro 1.



**Figura 4:** Imagem de satélite da lagoa Pitanguinha (Google Earth, 2008) com a localização das sete estações de coleta de coleta.

**Quadro 1:** Localização das estações de coleta na lagoa Pitanguiinha.

<b>ESTAÇÃO</b>	<b>LOCALIZAÇÃO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>AMOSTRAS</b>
# 1	Latitude: 22°55'40,8"S e Longitude: 42°20'23,2"W. Acesso: Condomínio Condolan, margeando a face esquerda da salina da borda noroeste da lagoa.	Área com vegetação rasteira, que sofre os efeitos da ação antrópica e baixa quantidade de bioclastos.	Foram coletadas 7 amostras de oncoídes e 8 amostras de estromatólitos estratiformes (Figura 6).
# 2	Latitude: 22°55'39,0"S e Longitude: 42°20'19,5"W. Acesso: Face oposta da salina da estação #1	Área com vegetação rasteira e formação de espuma de crisófitas na borda, e grande quantidade de bioclastos	Foram coletadas 3 amostras de trombólitos e 5 amostras de estromatólitos estratiformes (Figura 7).
# 3	Latitude 22°55'37,4"S e Longitude 42°20'16,4"W. Acesso: pela propriedade particular, antes da curva, na estrada do condomínio.	Área com despejo de esgoto <i>in natura</i> na lagoa, com ação antrópica acentuada, e grande quantidade de bioclastos.	Foram coletadas 8 amostras de oncoídes (Figura 8).
# 4	Latitude 22°55'36,6"S e Longitude 42°20'13,3" W. Acesso: estrada do Condomínio Condolan, após atenuada curva a esquerda	Área cercada de vegetação arbustiva e gramínea, e podem ser observadas grande quantidade de bioclastos.	Foram coletadas 8 amostras de estromatólitos estratiformes (Figura 9)
# 5	Latitude 22°55'36,2"S e Longitude 42°20'10,4"W. Acesso: pela salina existente no final da estrada do Condomínio Condolan.	Área cercada de vegetação arbustiva e gramínea, e pode ser observada grande quantidade de bioclastos.	Foram coletadas 2 amostras de trombólitos e 6 amostras de estromatólitos estratiformes (Figura 10).
# 6	Latitude 22°55'46,0"S e Longitude 42°19'56,6"W. Acesso: pelos condomínios Condolan e Lagoa Azul, e através pequenas ruas localizadas entre eles.	Área cercada de vegetação arbustiva e gramínea, e pode ser observada grande quantidade de bioclastos.	Foram coletadas 5 amostras de oncoídes (Figura 11).
# 7	Latitude 22°55'44,1"S e Longitude 42°19'51,9"W. Acesso: condomínios Lagoa Azul e Village Palm Beach, próximo ao ponto mais extremo da lagoa.	Área com ação antrópica acentuada, e baixa quantidade de bioclastos.	Foram coletadas 2 amostras de trombólitos (Figura 12).





**Figura 5:** Vista geral da borda sul da lagoa Pitanguinha.



**Figura 6:** Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 1, detalhe para os estromatólitos estratiformes encontrados nesta estação.



**Figura 7:** Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 2, detalhe para a espuma de crisófitas formada na borda na lagoa.



**Figura 8:** Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 3, detalhe para o local onde foram coletados os oncoides (seta).



**Figura 9:** Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 4, detalhe para o local onde foram coletados os estromatólitos estratiformes.



**Figura 10:** Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 5, detalhe para o local onde foram coletados os trombólitos e os estromatólitos estratiformes (seta).



**Figura 11:** Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 6, detalhe para o local onde foram coletados os oncoides (seta).



**Figura 12:** Vista geral da lagoa Pitanguinha na estação de coleta # 7, detalhe para o local onde são encontrados os trombólitos (seta).

## 2.2 Métodos

No entorno da lagoa Pitanguinha foram coletados os 54 microbialitos em 7 estações distintas na área, localizados através de receptor GPS.

O estudo na área se baseou em coletas trimestrais realizadas na região marginal da lagoa, no interior e nas paleomargens, no período de março de 2008 até março de 2011. Foram retiradas amostras dos microbialitos em 5 quadrantes de 1 m<sup>2</sup>, com auxílio de espátula de pedreiro e martelo de geólogo, distanciados em 400 m.

Para cada tipo de estrutura identificada no campo foram retirados pelo menos sete exemplares. O material das estruturas carbonáticas amostradas variam em peso de 50g a 10kg.

Foram aferidos no ato da coleta os parâmetros físico-químicos da água como pH (*Microprocessor* – pH meter CG867), temperatura (*conductometer* Hanylad LF1) e salinidade (refratômetro portátil) com escala de 0 a 100%.

O fracionamento das cianobactérias dos microbialitos foram feitos no laboratório Laboratório de Geologia Sedimentar (Lagesed) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), utilizando-se peróxido de hidrogênio de 20 volumes. Para fixação das cianobactérias foram adicionados solução aquosa de formol a 4% com água da lagoa e tamponado com bórax, mantido na ausência de luz (Damazio, 2004).

O processamento se deu através da maceração de pequenos fragmentos dos microbialitos na lâmina visando melhor visualização dos espécimes (Damazio-Iespa, 2008).

A análise taxonômica envolveu a confecção de 540 lâminas biológicas permanentes, com realização de medidas em microscópio óptico *Axio* (*Zeiss*). Sendo 70 lâminas dos trombólitos, 200 dos oncoides, 270 dos estromatólitos estratiformes.

Com o auxílio de uma ocular micrometrada foram observadas as características morfológicas clássicas. Para cada espécime (íntegra ou fragmento) foram realizadas 10 mensurações, sendo averiguado: (1) o diâmetro dos filamentos, (2) diâmetro das colônias, (3) diâmetro dos tricomas, (4) espessura das bainhas, (5) comprimento e (6) largura das células, obtendo-se os valores médios, mínimos e máximos (Damazio, 2004).

O registro fotográfico dos microbialitos foi realizado no ato da coleta e em laboratório, utilizando-se a câmera digital *Cannon Power Shot S5IS*.

Já para as cianobactérias foi utilizada a câmera *Axiocam MRc (Zeiss)*, em cianobactérias não se utiliza contagem devido a morfologia que pode ser esférica, colonial e filamentosa e também pelo processo de maceração das amostras. Com isso se determina a cianobactéria formadora do microbialito pela frequência em que aparece em diferentes lâminas de uma mesma amostra.

Cada táxon descrito se faz acompanhar das características e limites métricos. Como base bibliográfica clássica para a identificação ficológica seguiram-se os trabalhos de Prescott (1975); Anagnostidis & Komárek (1988) e Komárek & Anagnostidis (1999). Outras bibliografias também foram utilizadas para análise ficológica, como Branco *et al.* (1963); Baeta Neves (1983, 1991, 1992, 1993); Bicudo (1988); Baeta Neves e Casarin (1990); Azevedo (1991); Sant'Anna *et al.* (1991); Baeta Neves & Tribuzi (1992); Garcia-Baptista & Baptista (1992); Sant'Anna & Simoneti (1992); Senna (1992); Werner & Rosa (1992); Melo & Huszar (2000); Oliveira *et al.* (2000); Silva e Silva (2002); Carvalhal (2003); Sant'Anna *et al.* (2004); Damazio (2004, 2008) e Iespa (2006, 2010). Foi utilizado o sistema de classificação de Komárek & Anagnostidis (1999) para as Chroococcales cianobactérias cocoides e Anagnostidis & Komárek (1988) para as Oscillatoriales cianobactérias filamentosas.

As estruturas carbonáticas microbialíticas foram analisadas seguindo os seguintes critérios: integridade da amostra, tipos de laminações, organismos associados, cianobactérias formadoras de esteiras, coloração (escala de Munsell) e tamanho.

Foram preparadas dez lâminas petrográficas, no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da UFRJ, uma para cada tipo de estrutura carbonática com objetivo de observar sua morfologia interna com base nos parâmetros descritivos: microfósseis, partículas, diagênese e microestruturas. Tais características foram determinadas através da descrição petrográfica com microscopia de luz polarizada (*Axioplan 40*) no Lagesed.

Foram definidas com base em análise petrográfica (luz fotônica transmitida, polarizável), quatro microfácies (MM1–MM4), as quais se distribuem entre as amostras, numeradas e ordenadas em sequências crescentes, da base para o topo de cada amostra, que permitem reconhecer, em termos microestratigráficos, eventos distintos do

desenvolvimento do Plexo Estromatólito-Trombólito-Oncoide (PETO) segundo Iespa (2010).

Ainda utilizando-se da petrografia foram realizadas as análises de porosidade visual das estruturas, segundo Choquette & Pray (1970) utilizando-se as 30 lâminas petrográficas confeccionadas das amostras onde foram medidos e classificados os poros pelos seus maiores e menores diâmetros bem como a área total do poro e comparou-se com a área total da lâmina para se verificar a porcentagem de porosidade da amostra, utilizando-se o programa *Axioimager* (Zeiss).

Neste estudo foram realizadas 20 análises de isótopos de carbono e oxigênio, sendo 5 de cada microfácies, com o material proveniente da maceração dos microbialitos, utilizando-se como parâmetro de comparação os valores da água do mar atual.

O estudo combinado de isótopos de carbono e oxigênio em rochas carbonáticas é usado na distinção dos processos envolvidos na formação dos mesmos e, também, no entendimento e na determinação dos ambientes diagenéticos. A composição isotópica é representada de acordo com o padrão internacional Viena *Pee Dee Belemnite* (V-PDB) e os resultados são expressos em partes por mil (‰).

O estudo de isótopos de oxigênio em carbonatos pode ser usado para determinar a origem dos fluidos em equilíbrio com os carbonatos e, ao mesmo tempo, permite estimar a salinidade de formação dos mesmos (Shackleton, 1987 *apud* Weissert *et al.*, 2008). Tal análise foi feita no laboratório Laboratório de Estratigrafia Química e Geoquímica Orgânica (LGQM) na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

As análises químicas da água da lagoa foram realizadas pelo Laboratório de Laboratório de Águas do Departamento de Química da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC) em 2004 e na Hidroquímica Engenharia e Laboratório Ltda em 2008.

A análise dos bioclastos encontrados associados ao sedimento dos microbialitos foi efetuada no Núcleo de Estudos Tafonômicos (NEST), no Departamento de Ciências Naturais do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO).

### 3 GEOMICROBIOLOGIA

A Geomicrobiologia é a associação da Geologia com a Microbiologia, que incluem os estudos da interação entre organismos (no caso cianobactérias) e seus ambientes associados a rochas sedimentares (Little *et al.*, 1997; Jain *et al.*, 2010).

As cianobactérias tem uma longa história evolutiva na face da Terra. Evidências paleontológicas, geológicas, geoquímicas e isotópicas indicam que esses organismos já existiam há aproximadamente 3,5 Ga. Esses microrganismos foram provavelmente os primeiros produtores primários de matéria orgânica a liberarem oxigênio elementar na atmosfera primitiva. A longa história evolutiva das cianobactérias é tida como razão de sua abundante ocorrência nos mais diversos tipos de habitats modernos. A grande diversidade metabólica das cianobactérias propiciou a sua sobrevivência no ambiente inóspito da Terra primitiva e também favoreceu a sua colonização nos ambientes atuais (Schopf, 1996).

Sua diversidade varia de unicelular a multicelular, apresentando formas cocóides a filamentosas ramificadas ou não, de quase descolorida à pigmentação intensa, autotrófica ou heterotrófica, psicoclorofica à termofila, acidófila à alcalinofita, planctônica à barofita, sendo encontradas desde ambientes de água doce até marinha, incluindo hipersalinas e salinas artificiais (Thajuddin & Subramanian, 2005).

As cianobactérias possuem uma parede celular rígida similar à das bactérias. Além disso, várias formas secretam uma bainha mucilaginosa em torno de suas paredes celulares. As cianobactérias apresentam um extenso e relativamente bem documentado registro fóssil (Iannuzzi & Vieira, 2005).

Nos processos geológicos que envolvem cianobactérias inclui-se a formação de travertinos, estromatólitos, esteiras microbianas, eventualmente dolomita, magnetita, bem como processos que incluem dissolução mineral (Frantesi *et al.*, 2004). As cianobactérias normalmente precipitam calcita, calcita magnesiana e aragonita (Chekroun *et al.*, 2004).

Em mares rasos de águas quentes e ricas em sais e carbonatos, esteiras de cianofíceas são capazes de aprisionar, através de seu filme de muco, carbonato de cálcio dissolvido na água, dando origem a um tapete calcário. Com o passar do tempo, esse tapete carbonático torna-se mais espessos dificultando, assim, a penetração da luz solar



e as trocas gasosas necessárias à sobrevivência dos organismos fotossintetizantes. Entretanto, as cianofíceas continuam a se multiplicar, vindo a sobrepor-se ao tapete carbonático criado por elas. Ao sobrepor-se ao antigo tapete, as cianofíceas desencadeiam a formação de um novo tapete carbonático (Iannuzzi & Vieira, 2005).

Apresentam ficobiliproteínas como pigmentos fotossintéticos acessórios responsáveis pela cor vermelha ou verde-azulada. Sua ampla distribuição deve-se ao seu metabolismo versátil e às adaptações estruturais e enzimáticas, tais quais: ficobiliproteínas, que compõem um sistema antena que auxilia na captação de luz para fotossíntese, possibilitando sua sobrevivência em ambientes com pouca luz; fixação de nitrogênio atmosférico por algumas espécies, através de estruturas especializadas denominadas heterocitos, que favorece seu desenvolvimento em ambientes com baixa concentração de compostos nitrogenados; capacidade de produzir células diferenciadas (acinetos) que funcionam como esporos de resistência em condições adversas, permitindo a sobrevivência da célula por longos períodos; podem formar vacúolos gasosos (aerótopos), que permitem migração vertical na coluna d'água, podendo buscar a profundidade em que tanto a intensidade luminosa quanto a concentração de nutrientes são favoráveis; toleram grandes variações de temperatura; são capazes de armazenar fósforo na forma de grãos de polifosfatos em seu citoplasma; e podem ser tóxicas a outros organismos (Sant'Anna *et al.*, 2006).

As cianobactérias marinhas apresentam particularidades sistemáticas próprias, por apresentarem uma grande plasticidade morfológica em função das condições do meio. Elas apresentam estruturas complexas, com uma evolução da diferenciação celular. A grande tolerância e a independência nutricional que elas apresentam permitem sua adaptação às condições variadas do meio (Baeta Neves & Mello, 2002).

Finalmente, a fotossíntese das cianobactérias é a única que utiliza a água como a molécula doadora de hidrogênio no processo de síntese de matéria orgânica. Esta peculiaridade faz com que o oxigênio seja expelido em sua forma gasosa como elemento residual do processo fotossintético, fator decisivo na evolução da vida na Terra (Iannuzzi & Vieira, 2005).

## 4 MICROBIALITOS

Microbialitos são depósitos organosedimentares de acreção sendo o resultado do aprisionamento e união de sedimentos exercidos pelas comunidades cianobacterianas bentônicas pertencentes, por exemplo, aos gêneros *Schizothrix*, *Phormidium*, *Synechococcus* (Gautret *et al.*, 2004).

O ácido aspártico e o ácido glutamínico são importantes na formação de  $\text{CaCO}_3$  nos microbialitos. A destruição da bainha conduz a perda de ácido aspártico, ácido glutamínico, leucina e isoleucina devido ao processo de calcificação da bainha. O processo diagenético pode resultar na degradação de camadas de proteínas juntas com os polissacarídeos extracelular da bainha protéica registrada na superfície e nas partes internas do microbialito (Gautret *et al.*, 2004).

Estromatólitos, trombólitos, oncólitos e esteiras são alguns exemplos de microbialitos (Sheehan & Harris, 2004). Em um único microbialito podemos encontrar fases estromatolítica, trombolítica e oncolítica (Zanagni *et al.*, 2009).

A presença de microbialitos em sedimentos do Fanerozoico está relacionada às modificações ambientais. Fatores como competição com os metazoários, parâmetros para litificação, substrato e evolução microbiana são responsáveis pelo controle da abundância e preservação dos microbialitos (Riding, 2000). Processo de microbioerosão é típico nessas estruturas (Heindel *et al.*, 2008).

Os microbialitos diminuíram durante o final do Proterozóico, devido à pastagem dos eucariontes, competição de espaço e modificação dos substratos (Riding, 2006).

Vários autores entre eles Schurbert & Bottjer (1992) e Sheehan & Harris (2004) mencionam o notável aumento da abundância e da extensão dos microbialitos em ambiente marinho depois de diversos períodos de crises globais da biodiversidade. É possível que alguns níveis dos microbialitos, possam conter registros de crises bióticas e ajudem a estabelecer os limites desses períodos de crises (Astibia *et al.*, 2008). Durante as maiores crises da história da Terra, como as extinções Permo-Triássico e a do fim do Triássico ou durante crises locais como a crise Messiniana, os microbialitos são os últimos a serem afetados e os primeiros a recolonizar o ambiente após a crise (Dupraz *et al.*, 2009).

#### 4.1 Esteiras microbianas

Esteiras microbianas são ecossistemas que foram diretamente afetados pelas alterações das condições ambientais que a Terra passou ao longo do tempo geológico. São sistemas organosedimentares laminados. Sua preservação no registro fóssil pode ocorrer através da precipitação carbonática e aprisionamento de sedimentos resultando na formação de esteiras litificadas ou microbialitos (Dupraz *et al.*, 2009)

De acordo com Stolz (2000), as esteiras apresentam um gradiente químico, abundância de microorganismos fototróficos, e podem apresentar estratificação da população microbiana dentro de lâminas distintas, e podem ainda ser consideradas como um biofilme complexo. Sofrem ação de fatores físicos, como luz, temperatura, pressão densidade, quantidade de água, fluxo de água e fatores químicos como pH, alcalinização, oxidação, redução, salinidade, concentração de oxigênio e outros elementos químicos ( $H_2S$ ,  $NO_3$ ) e compostos orgânicos (carbono orgânico dissolvido).

As esteiras recentes têm sido encontradas principalmente em ambientes marinhos costeiros salinos ou hipersalinos (Batchelos *et al.*, 2000). As cianobactérias, agentes biológicos, componentes destas esteiras arranjam-se de forma peculiar e são responsáveis pela retenção e aprisionamento do sedimento que as compõem. Estes arranjos podem formar tufos, retículos, bem como se apresentar enovelados tendo como consequência modelagem distinta das esteiras (Damazio-Iespa, 2008). São normalmente encontradas sobre a areia siliciclástica e substrato com fino grão siliciclástico (Schieber, 1998).

Podem ser encontradas em todos os níveis de maré e são mais facilmente evidenciadas em períodos de baixa precipitação, podendo até mesmo ficar totalmente submersas, desaparecendo, dependendo da estação do ano.

Tem seu desenvolvimento relacionado às espécies cocóides e filamentosas, contribuindo para os primeiros depósitos orgânicos que serão degradados e modificados pela atividade bacteriana subsequente (Iespa, 2010). As populações de cianobactérias se dispõem em pequenas camadas horizontais. Essas camadas aumentam de espessura e podem variar de alguns milímetros até alguns centímetros (Urmeneta & Navarrete, 2000).

## 4.2 Estromatólitos

Referências sobre estromatólitos iniciaram-se em 1825, quando foram pela primeira vez identificados por Steel como do Cambriano Superior perto de Saratoga Springs, Nova York. Estes permaneceram obscuros até James Hall (1883), descrevê-los e reilustrá-los com o nome de *Cryptozoon proliferum*. Poucos anos depois, após a descrição e a denominação de várias “espécies” de *Cryptozoon*, as primeiras estruturas do Pré-Cambriano receberam uma denominação Linneana e foram encontradas no grupo Green Head próximo a Saint John, New Brunswick, por Matthew (1890). Como os sufixos dos nomes “genéricos” indicam, as formas eram originalmente interpretadas como animais primitivos e particularmente como protozoários, esponjas ou stromatoporóides. Estudos iniciais em ocorrências modernas em fontes termais foram feitos por Cohn (1862), nas fontes Carlsbad na Boemia e por Weed (1889), no Parque Yellowstone.

A palavra estromatólito foi cunhada por Kalkowsky (1908), do grego *stromat*, desdobrar, espalhar, do latim *stroma*, camada, cobertura; do grego *lithos*, rocha. Ele, contudo aplicou o termo para toda a bioherma e bioestroma, usando a palavra estromatóide para as formas individuais, que a literatura atual refere como estromatólitos e para os quais Twenhofel (1919) propôs o termo cenoplase.

Embora Kalkowsky tenha inferido o envolvimento de atividade algal na formação de estromatólitos, foi Walcott (1914) que forneceu a primeira explicação moderna e a primeira classificação simples das estruturas. Ele usou tufas de água doce modernas para deduzir a origem cianobacteriana dos estromatólitos. Sua interpretação foi posteriormente confirmada por outros estudos em ocorrências de estromatólitos marinhos modernos por Black (1933) nas Bahamas e por Ginsburg *et al.* (1954) em ocorrência na Flórida.

Trabalhos experimentais no crescimento de estromatólitos e oncólitos sob condições de laboratório foram feitos por Bradley (1929). Young (1935), que aplicou as observações de Black em estromatólitos proterozóicos na África do Sul e Fenton & Fenton (1937), documentaram os exemplos de Walcott. Sander (1936), estudou a ritmicidade das laminações.

Tentativas de decifrar as relações filogenéticas e as tendências evolucionárias foram iniciadas por Mawson (1925), Pia (1927) e por Maslov (1939).

A base para uma metodologia de estudo e classificação foram desenvolvidas por Korolyuk (1960) e por um grupo de pesquisadores do Instituto Geológico da Academia de Ciências da antiga União Soviética, entre eles, Komar, Krylov, Nuzhnov, Raaben e Semikátov. Estes geólogos desenvolveram e aplicaram um método de reconstrução gráfica por secção em série, o que lhes permitiu identificar os estromatólitos e reconhecer quatro divisões do Pré-Cambriano tardio (Rifeano e Vendiano) da antiga União Soviética baseados em assembléias de formas colunares.

Logan (1961), estudando análogos marinhos modernos de grandes estromatólitos colunares pré-cambrianos e paleozóicos descobertos no extremo oeste da Austrália gerou uma oportunidade para estudar a importância das relações organismo-sedimento na formação de tais estruturas colunares.

Um grande número de trabalhos sobre bioestratigrafia com estromatólitos e suas correlações foram publicados desde 1960. Similarmente, um grande número de trabalhos enfatizando aspectos ambientais foi publicado simultaneamente (Riding, 1999).

Em ocorrências modernas destacam-se os estudos dos estromatólitos da Baja California estudados por Horodyski & Haar (1975), os estromatólitos das Bahamas estudados por pesquisadores como Visscher *et al.* (1998) e os estromatólitos do estado do Rio de Janeiro estudados por Silva e Silva *et al.* (1999).

Os estudos de estromatólitos também foram impulsionados pela astrobiologia e exobiologia como modelos de possível vida extraterrestre, em especial, para as pesquisas de Marte (Cady *et al.*, 2003).

Ao longo da história dos estudos dos estromatólitos, várias definições foram adotadas em função da percepção de dois de seus atributos: biogenicidade e laminações. Em cada definição, um ou outro atributo fora evidenciado gerando, entretanto, terminologias que ampliavam demais a definição de estromatólito, ora abraçando dentro do termo estruturas biogênicas não laminadas (*e.g.* trombólitos), ora abraçando estruturas laminadas não biogênicas (*e.g.* espeleotemas) (Riding, 1999).

Awramik & Margulis (1974), definiram estromatólitos como estruturas organossedimentares megascópicas produzidas pelo aprisionamento, ligação e/ou precipitação de sedimento como um resultado do crescimento e atividade metabólica de organismos, primariamente cianobactérias, que Burne & Moore (1987) adaptaram

criando o termo microbialito agregando qualquer depósito microbiano sem levar em conta sua macrofábica.

Semikhatov *et al.* (1979) definiram estromatólitos como uma estrutura fixa, laminada, litificada, sedimentar cujo crescimento ocorre afastando-se do ponto de acreção inicial, podendo ser de qualquer origem, composição, formato, tamanho ou idade.

Com isso, diversos autores ao estudarem estromatólitos utilizaram parâmetros como microbiano e laminado; microbiano, mas não necessariamente laminado; laminado, mas não necessariamente orgânico (Riding, 1999). No presente trabalho optou-se pela definição clássica de Kalkowsky (1908) reendossada por Riding (1999): “*Um estromatólito é um depósito laminado microbiano bêntico*”.

Essas estruturas são conhecidas desde o século XIX, embora erroneamente interpretadas até a década de 60 do século XX, como concreções de origem não biológica. Na década de 60 foram descobertos representantes atuais de estromatólitos na costa oeste da Austrália em ambiente hipersalino, posteriormente correlacionados com estruturas freqüentes em rochas pré-cambrianas. Estes fósseis são considerados como uma das evidências mais antigas da vida no planeta, sendo encontrados em quase todos os continentes a partir do Arqueano (Knoll, 2003).

São produzidas pelo trapeamento, união e precipitação devido à atividade de microorganismos principalmente cianobactérias. O crescimento do estromatólito ocorre através das cianobactérias filamentosas que precipitam calcita no interior da bainha de mucilagem (Zarza, 2010).

Os estromatólitos são formados a partir de uma camada densa de carbonato de cálcio (micrita) e camadas de detritos (clástica). As camadas clásticas são formadas por oóides, pelóides e bioclastos (Feldmann & Mckenzie, 1998).

A composição sedimentológica dos estromatólitos pode ser silicosa, carbonática, evaporítica e silico-carbonática. São estruturas laminadas, onde nem todas as lâminas ocorrem depósitos de cianobactérias, exemplares antigos podem tornar difícil à visualização das cianobactérias (Riding, 2000).

São formados geralmente em condições energia variada, ambientes iluminados e taxa de sedimentação variada. Podem ainda estar associados a estruturas coralinas e trombólitos (Zanagni *et al.*, 2009)

As taxas de erosão e deposição são parâmetros que também ajudam a controlar o desenvolvimento dos estromatólitos (Noffke & Paterson, 2008). Os sedimentos aprisionados e a comunidade cianobacteriana são responsáveis pelo crescimento dos estromatólitos e influenciando sua morfologia (Planavsky & Grey, 2008).

A luminosidade e sedimentação são elementos chaves do ecossistema estromatólítico. A luminosidade é responsável pelo local de crescimento do estromatólito. Outros fatores que impactam a morfologia do estromatólito seria a salinidade, aporte de nutriente, velocidade da corrente, distribuição do tamanho de grãos sedimentares, saturação de carbonato de cálcio, hidrodinamismo, temperatura e competição (Dupraz *et al.*, 2006).

O crescimento dos estromatólitos marinhos modernos depende do balanço dinâmico entre sedimentação e litificação das esteiras microbianas (Reid *et al.*, 2000). A ação das correntes e as taxas de erosão e deposição sedimentar são parâmetros que ajudam a controlar o desenvolvimento da estrutura estromatólítica (Flügel, 2004; Noffke & Paterson 2008).

Processos diagenéticos associados ao crescimento dos estromatólitos incluem: dissolução, cimentação, substituição, sedimentação interna e relocação de estrutura por processos erosivos. A ligação do sedimento por cimentação e/ou aprisionamento da esteira é necessário para preservar a estrutura do estromatólito (Duane & Al-Zamel, 1999).

No Recente, já foram observados em ambientes marinhos e lacustres, assim como em riachos alcalinos, principalmente com águas claras e rápidas (Sabater *et al.*, 2000). Estromatólitos (microbialitos) ocorrem também em cavernas e no solo (Riding, 2000). Em água mais calma, com pouca turbulência as cianobactérias filamentosas formam as laminações aprisionando o sedimento em consequência formam os estromatólitos (Landrum, 2007).

Podem ser do tipo estratiforme, domal, nodular, ramificado, colunar e *biscuit*. Os estromatólitos estratiformes consistem em placas poligonais planas, compactas, porosas e litificadas, com coloração cinza, que se formam sobre o assoalho arenoso da lagoa (Silva e Silva *et al.*, 2007).

As biolaminações internas são produzidas por cianobactérias e controladas por fatores climáticos como, por exemplo, umidade e salinidade (Semikhatov & Raaben, 2000; Batchelor *et al.*, 2005; Arenas *et al.*, 2007).

Hoje em dia a presença ativa de estromatólitos é rara, ocorrendo em ambientes marinhos entre marés ou supramarés e regiões hipersalinas, sendo possível em fontes termais e lagoas alcalinas (Lopes, 1988). Os estromatólitos modernos têm uma distribuição mais modesta e geralmente são encontrados onde algum tipo de condição ambiental considerada extrema esteja presente (Golubic, 1991), embora marinhos como nas Bahamas (Visscher *et al.*, 1998) também ocorram. Exemplos de tais ambientes e seus estromatólitos são: os estromatólitos dos lagos de alta altitude do Altiplano Boliviano (Cabrol *et al.*, 2004); baía hipersalina como Shark Bay (Logan, 1961; Papineau *et al.*, 2005); lagoas hipersalinas como Lagoa Salgada (Silva e Silva, 2002), Lagoa Vermelha (Silva e Silva *et al.*, 2004), Lagoa Mormona (Horodyski & Haar, 1975), Lagoa Amarga (Silva e Silva *et al.*, 2008) Lagoa Pitanguinha (Damazio-Iespa, 2008), Lagoa Pernambuco (Iespa, 2006), Lagoa de Araruama (Silva e Silva *et al.*, 2006b) e regiões hidrotermais (Caneta *et al.*, 2005).

### 4.3 Trombólitos

Os trombólitos foram primeiramente descritos por Aitken (1967), que os descreve como uma estrutura cryptalgal com formato de domos individuais, com uma estrutura interna formada por coágulos e sem laminações nítidas. Posteriormente Pratt & James (1982) relatam que os trombólitos são estruturas cryptalgal com a morfologia variando de estratiforme a colunar, podendo ter ramificações e laminações nítidas a raras. Já Kennard & James (1986) propõem que os mesocoágulos encontrados nos trombólitos são os mesmos coágulos cryptalgal descrito por Aitken.

Por outro lado, os trombólitos têm todas as características dos estromatólitos, exceto a laminação interna bem definida (Srivastava, 2004). Os trombólitos são estruturas organossedimentares carbonáticas, resultados da união e aprisionamento de sedimento por cianobactérias formando uma estrutura com poucas laminações ou ausência delas, além de coágulos micríticos (Shapiro & Awramik, 2006; Flügel, 2010).

No interior dos trombólitos além das cianobactérias podem ocorrer diatomáceas, gastropódes, bivalvíos, ostracodes, foraminíferos, serpulídeos bentônicos e pelóides (Adachi *et al.*, 2006; Viscogni *et al.*, 2008).

São formados de pequenas bioestruturas dômicas, cujas feições externas são semelhantes aos estromatólitos colunares e colunares-estratiformes. Diferem dos



últimos, no entanto, por uma laminação interna difusa, provavelmente devida à atividade parasitária de vermes, microgastrópodos, ostracodios e outros organismos, que destroem as estruturas e promovem uma feição grumelosa (Srivastava & Almeida, 2000).

Em sua estrutura participam grãos carbonáticos e siliciclásticos e podem possuir fenestras, poros e fragmentos de conchas. As fenestras são pequenas, de forma irregular e com alguns milímetros; os poros são grandes, vazios, circundados por micrita microbiana com distribuição irregular ou subparalela (Braga & Martin, 1995).

Podem ser formados por vários processos como calcificação de microfósseis, e precipitação carbonática da comunidade cianobacteriana esférica (cocóide), associadas com uma interação complexa de aglutinação irregular, incrustação esquelética, processos erosivos e bioturbação (Zanagni *et al.*, 2009). Tempestades e grande mobilidade na água refletem na produção de coágulos e, por consequência, na formação dos trombólitos (Landrum, 2007).

Suas construções apresentam um crescimento desigual no assoalho devido ao intenso turbilhamento das águas onde são formados (Draganits & Noffke, 2004). Internamente exibem áreas escuras, com grande quantidade de micrita, e claras, caracterizadas por grãos. Os coágulos macroscópicos observados nos trombólitos resultam da mudança rápida e irregular na proporção destes componentes (Braga & Martin, 1995).

Os trombólitos são conhecidos desde o Neoproterozóico, coincidindo com o aumento dos organismos multicelulares (Turner *et al.*, 2000), e são ainda característicos do Cambriano, Ordoviciano e Devoniano (Shapiro, 2000).

São considerados como um produto de distúrbio ou alterações na estrutura do estromatólito. A estrutura coagulada do trombólito pode ser formada por dois caminhos (Braga & Martins, 1995). O primeiro seria por partículas de aglutinação, bem como calcificação microbiana (Silva e Silva *et al.*, 2006a). Desenvolve-se sobre a borda da plataforma onde águas turbulentas fornecem partículas sedimentares insuficientes e onde alta luminosidade estimula a encrustação em lacunas (Braga & Martins, 1995). Tempestades na água também refletem produção de coágulos e por consequência formação de trombólitos (Landrum, 2007). O segundo a partir de atividades parasíticas de gastrópodes, serpulídeos bentônico, ostracodes e de outros organismos que destroem

as estruturas internas, deixando uma feição grumelosa (Srivastava & Almeida, 2000; Zamagni *et al.*, 2009).

No aspecto morfológico podem ser classificados como estratiformes, colunares, colunar ramificado, cabeços e domais (Grotzinger *et al.*, 2000). Alguns constituem formas isoladas, interconectadas, anastomosadas e coalescentes (Armella, 1994). Eram abundantes entre o Cambriano e início do Ordoviciano (Riding, 2000). O aumento de organismos multicelulares está relacionado com o aumento de trombólitos no Neoproterozoico (Turner *et al.*, 2000).

#### 4.4 Oncoides

Oncólitos são rochas compostas de oncoides (Yeo *et al.*, 2002), já os oncoides são estruturas laminadas concêntricas, formados por cianobactérias cocoides e filamentosas (Schieber, 2005). Sua morfologia varia de concêntricos a elipsóides, com lâminas de 2mm a 8cm de espessura (Yeo *et al.*, 2002).

Os oncoides são geralmente pequenos e consistem em núcleos mais ou menos distintos (conchas de moluscos ou cianobactérias) e o córtex da estrutura é irregular, não concêntrico com lâminas de micrita. No interior das laminações exibem estruturas biológicas e sedimentos associados a um ambiente saturado de carbonato de cálcio (Kile *et al.*, 2000; Flügel, 2004).

As laminações são formadas através da união e aprisionamento de sedimento e precipitação de calcita e calcita magnésiana pelas cianobactérias (Friedman *et al.*, 1992; Hagele *et al.*, 2006).

Os oncoides concêntricos são comuns no interior de trombólitos porosos e coagulados (Mingxiang, 2007). São encontrados principalmente em lagos salobros a hipersalinos, sistema fluvial e fontes termais (Davaud & Girardclos, 2001; Flügel, 2010).

O interior dos oncoides é formado por restos esqueletais de moluscos, ostracódios ou foraminíferos (Masse *et al.*, 2004; Shen & Webb, 2004). Geralmente são formados em regiões de alta energia (Yeo *et al.*, 2002). São utilizados como indicadores de variação do nível do mar no modelo transgressão-regressão (Ratcliffe, 1988).

Os oncoides estão presentes no período Terciário nas ilhas Cayman, constituídos por núcleos e laminações concêntricas, formado por cianobactérias filamentosas e esféricas (Jones, 2011).

Já os oncoides modernos em água doce no rio Alz (Bavaria, Alemanha) apresentam lamina subconcentricas calcárias, produzidas por cianobactérias. *Schizothrix calcicola*, *Calothrix gypsophila*, *Phormidium incrustatum*, *Pleurocapsa minor* e *Aphanothece saxicola* (Hagele *et al.*, 2006)

Os oncoides recentes da lagoa Salgada no Rio de Janeiro exibem formas esféricas, ovais, elipsoidais e irregulares e não se encontram aderidos ao substrato. Apresentam laminações milimétricas concêntricas, com camadas alternadas claras (com baixa concentração de matéria orgânica) e escuras (alta concentração de matéria orgânica).

Estas camadas são irregulares e aparecem com espessuras distintas variando entre 0,5 e 1 mm. No interior destas construções, na porção central, observa-se que seus núcleos são formados principalmente por restos esqueletais de bivalvíos e gastrópodes íntegros ou fragmentados e ocorrem associados às esteiras microbianas lisas.

Foram reveladas 15 espécies de cianobactérias na composição das estruturas: *Aphanothece saxicola* Nägeli 1849, *Chroococcus membraninus* (Meneghini) Nägeli 1849, *C. microscopicus* Komarkova-Legnerova & Cronberg 1994, *C. minimus* (Keissler) Lemmermann 1904, *C. minor* (Kützing) Nägeli 1849, *C. minutus* Keissler 1901, *C. quaternarius* Zalessky 1926, *C. turgidus* (Kützing) Nägeli 1849, *Cyanosarcina thalassia* Anagnostidis & Pantazidou 1991, *Kyrtuthrix maculans* (Gomont) Umezaki 1958, *Microcoleus chthonoplastes* (Thuret) Gomont 1892, *Phormidium okenii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988, *P. willei* (Gardner) Anagnostidis & Komárek 1988, *Schizothrix friesii* (Agardh) Gomont 1892, *Synechococcus elongatus* Nägeli 1849. Nägeli 1849 (Silva e Silva *et al.*, 2007; Iespa, 2010).

## 5 GEOLOGIA DA AREA DE ESTUDO

A geologia da bacia de drenagem da lagoa Pitanguinha é composta por gnaisses e migmatitos pré-cambrianos (Patchineelam & Rebello, 1984).

A região de Araruama apresenta um relevo constituído por rochas proterozóicas compostas de granitóides com textura grossa e fenocristais de K-feldspato de 2–4 centímetros de comprimento (Schmitt, 2001).

Sedimento emerso de origem lagunar forma o bordo da restinga, as praias de fundo e a enseada e os esporões, apresentam caracterização mineralógica muito semelhante, areias com pouco silte, quase ausência de argila e presença de muitos fragmentos de conchas (Brasil, 1984).

Na restinga de Massambaba estão situadas as lagoas Vermelha, Pitanguinhas, Pernambuco e Azul (Primo e Bizerril, 2002). Ela é formada por um grande arco de praia com 48 km de extensão e dunas com até 20 m e estendem pelos municípios de Saquarema, Araruama e Arraial do Cabo (Weber, 2001) e apresenta predomínio de quartzo, vestígios de mica e fragmentos de conchas (Lamego, 1945).

A maioria das lagoas da restinga da Massambaba não apresenta grandes profundidades (apenas alguns metros), propiciando que a ação dos ventos que produza agitação importante, arrastando as partículas finas em suspensão e uma homogeneização dos sedimentos depositados no fundo (Turcq *et al.*, 1999b).

Já a lagoa Pitanguinha apresenta areias quartzosas, composta por grãos muito finos a grossos, sub-angulosos à sub arredondados (Damazio-Iespa, 2008).

O primeiro modelo de formação da lagoa de Araruama, assim como para outras lagoas do Rio de Janeiro, foi proposto por Lamego (1945) em seu trabalho intitulado “O ciclo evolutivo das lagunas fluminenses”. Este trabalho se caracterizou pela ausência de dados geológicos mais acurados e por atribuir papel secundário às mudanças do nível do mar nas construções das barreiras internas e externas (Turcq *et al.*, 1999a).

Segundo Muehe & Valentini (1998) neste modelo assume-se o crescimento dos cordões litorâneos, de leste para oeste, na forma de um pontal.

Segundo Coe Neto (1984), a origem deste sistema esta ligada às subidas sucessivas relativamente recentes do nível do mar e a presença das lagunas sobre estes cordões sugere que foram construídos ao curso de duas transgressões marinhas com oscilações menores. Segundo este mesmo autor, no início do Holoceno, o mar começou

a afogar os depósitos arenosos, enriquecidos por materiais clásticos terrígenos, que foram construídos durante a Regressão Pré-flandriana. Ao longo deste tempo o mar retrabalhou os sedimentos depositados no Plioceno e Pleistoceno (pré-flandrianos) até chegar ao seu clímax onde atingiu de 4 a 6 m à cima do nível atual. Após esse evento o mar baixou gradativamente abandonando a restinga flandriana formada. Um novo avanço do mar após a construção dos cordões flandrianos deve ser admitido, uma vez que uma série de cordões mais recentes (Pós-flandriana) foi construída, permitindo o desenvolvimento das lagoas (Figura 13).

Segundo Lopes (1988), o sistema lagunar de Araruama tem sua formação relacionada a duas transgressões marinhas sucessivas (Figura 14), as quais ocasionaram o aparecimento de duas séries de cordões litorâneos de idades diferentes, responsáveis pelo fechamento da laguna. Estes cordões foram alimentados pelos depósitos continentais acumulados sob a forma de glaciais em um período de regressão marinha (Silva e Silva *et al.*, 2003). A datação das conchas de sambaquis por  $^{14}\text{C}$  indica uma idade entre 4.200 a 3.800 anos A.P..

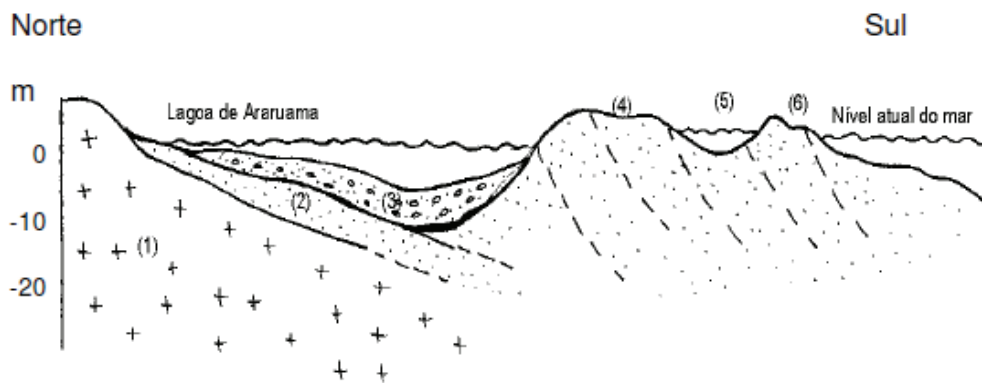
O sistema interno pleistocênico é composto das maiores lagoas (Piratininga, Itaipu, Maricá, Guarapina, Jaconé, Saquarema e Araruama), sendo separado do mar por duas barreiras de areia, chamadas de “restinga interna” e “restinga externa” (Massambaba). Uma zona baixa, entre estas duas barreiras, é ocupada em alguns setores por pequeno lagos e brejos holocênicos (como as lagoas Vermelha, Pitanguinha, Pernambuco, brejo do Espinho e do Pau Fincado) que formam o sistema externo (Turcq *et al.*, 1999b).

Durante o estágio final do último episódio transgressivo a cerca de 7.000 anos devido às flutuações do nível do mar a barreira foi parcialmente erodida e a areia provinda desta erosão foi depositada no interior da costa e as lagoas que foram dissecadas no último episódio regressivo voltaram a ocupar a área por trás da restinga. Em cerca de 6.600 anos A.P. uma nova barreira arenosa paralela a restinga interna foi isolada. Em aproximadamente 5.100 anos A.P., fase que corresponde ao máximo do nível do mar da última transgressão, alcançou uma posição mais interna dando origem ao conjunto de lagoas satélites (Turcq *et al.*, 1999b), entre elas a lagoa Pitanguinha (figuras 15 e 16).

Segundo o modelo proposto por Suguio (2001), antes de 123.000 anos A.P., durante um período de submergência, um sistema de ilha de barreira foi formado

fechando o embasamento entre os promontórios cristalinos e dando origem a uma série de lagoas grandes como Jacarepaguá, Rodrigo de Freitas, Piratininga, Itaipu, Maricá, Guarapina, Jaconé, Saquarema e Araruama. Após este evento houve uma relativa queda no nível do mar, que durou até a última transgressão a cerca de 17.000 anos A.P., promovendo a dessecação das lagoas e a progradação da linha de costa partindo da ilha de barreira recém-formada causando o isolando destas lagoas.

Os testemunhos coletados dentro do sistema lagunar externo, localizado entre as duas barreiras (externa e interna), revelaram que estas pequenas lagoas (lagoa Pitanguinha) iniciaram a sua formação entre 7.000 e 5.000 anos A.P. Porém a barreira interna corresponde a um episódio do nível do mar anterior ao Holoceno, datado de 123.000 anos A.P. (Suguio, 2001).



**Figura 13:** Evolução dos cordões litorâneos ao sul da lagoa de Araruama segundo Coe Neto (1984). 1- Rocha Cristalina (Gnaisses); 2-Depósitos arenosos Pré-flandrianos; 3-Depósitos lagunares; 4-Cordão Pleistocênico; 5-Lagoas; 6-Cordão Holocênico.

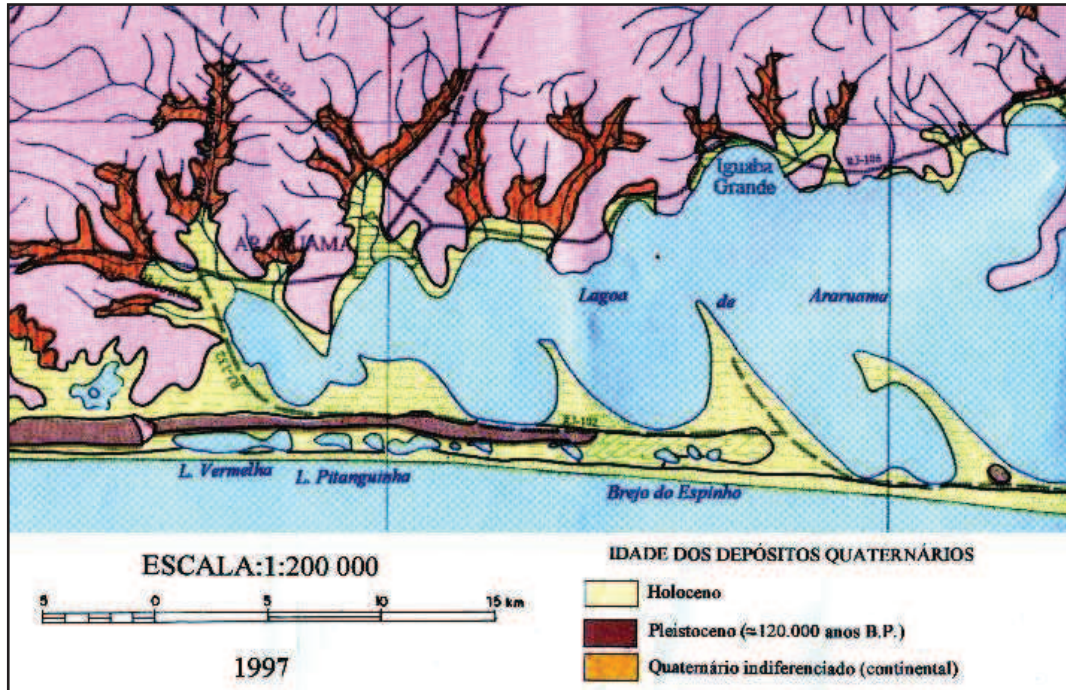


Figura 14: Mapa geológico do quaternário costeiro da Restinga de Massambaba (CPRM,1997).

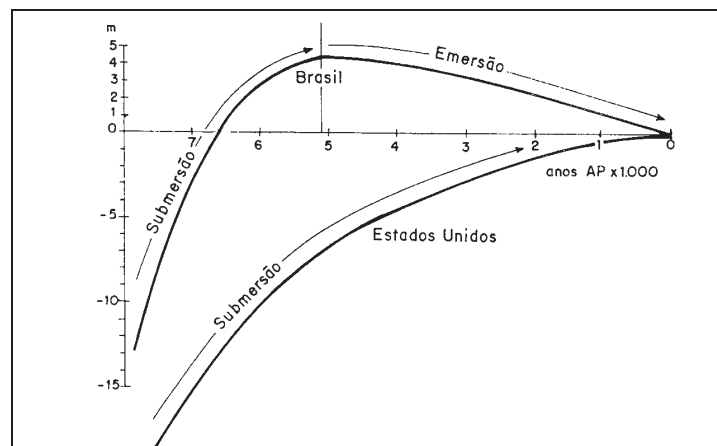
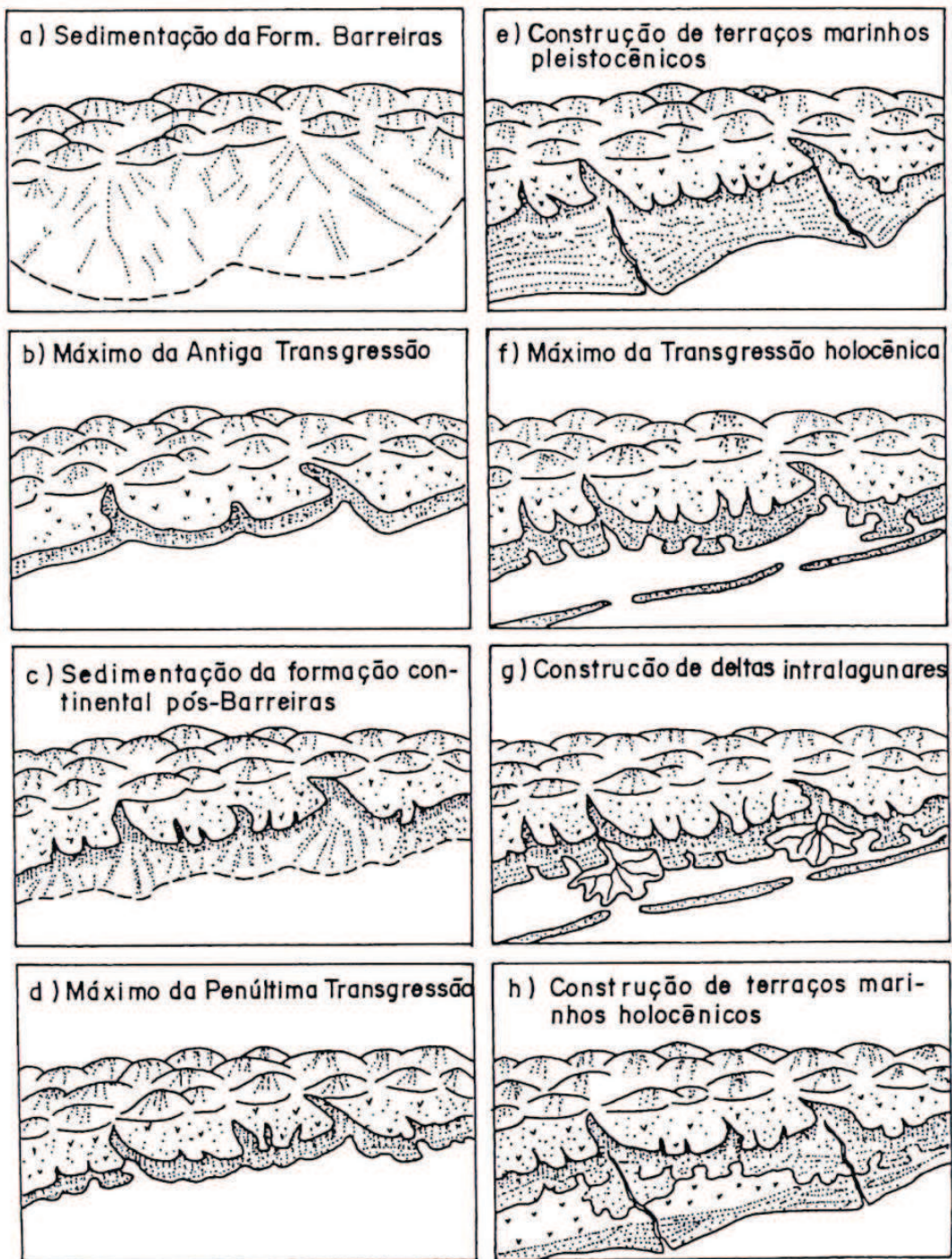


Figura 15: Curvas esquemáticas médias de variações dos níveis relativos do mar ao longo da costa central brasileira e ao longo das costas Atlântica e do Golfo do México dos Estados Unidos durante os últimos 7.000 anos (Martin *et al.*, 1987).



**Figura 16:** Modelo geral de evolução geológica das planícies da costa central brasileira, durante o Quaternário (Suguio, 2001).



## 6 RESULTADOS

### 6.1 Análise físico-química

Os valores médios dos parâmetros físico-químicos aferidos durante as coletas nas 7 estações de coleta estão dispostos na Tabela 1, com o objetivo de acompanhar as possíveis variações sazonais da lagoa. A média da salinidade verificada na lagoa foi de 58‰ (hipersalino), a temperatura média da água foi de 24,5°C e o valor médio do pH 8,5 (alcalino).

**Tabela 1:** Valores médios dos parâmetros físico-químicos determinados na lagoa Pitanguiha no período de março de 2008 a março de 2011.

Coletas	<i>Parâmetros</i>		
	Temperatura da água (°C)	Salinidade (‰S)	pH (u. pH)
<b>03/2008</b>	24,5	65	8,7
<b>06/2008</b>	23,0	58	8,4
<b>09/2008</b>	24,5	55	8,5
<b>12/2008</b>	26,0	60	9,0
<b>03/2009</b>	22,5	62	8,3
<b>06/2009</b>	22,0	50	8,0
<b>09/2009</b>	23,5	60	8,3
<b>12/2009</b>	27,0	65	9,0
<b>03/2010</b>	24,0	48	8,5
<b>06/2010</b>	23,0	54	8,3
<b>09/2010</b>	24,5	55	8,4
<b>12/2010</b>	26,5	60	8,5
<b>03/2011</b>	28,0	58	9,0

Tabela 2: Análise química da água (Damazio, 2004).

<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado</b>
Aspecto ao natural	Límpida e incolor
Odor a frio	Nenhum
Sólidos em suspensão	Nenhum
Côr (mg Pt/L)	Zero
Turbidez (uT)	Zero
pH	8,7
Condutividade a 250 C	1120.x10 <sup>-3</sup> mhos.cm-1
Resíduo provável a 1800 C	7,09 x 10 <sup>5</sup>
Dureza total em carbonato de cálcio	1,5 x10 <sup>4</sup>
Dureza temporária em carbonato de cálcio	214
Dureza permanente em carbonato de cálcio	1,5 x 10 <sup>4</sup>
Sílica em SiO <sub>2</sub>	1,7
Lítio	0,02
Sódio	20x10 <sup>3</sup>
Magnésio	3,16 x 10 <sup>3</sup>
Alumínio	<0,001
Potássio	7,5 x 10 <sup>2</sup>
Cálcio	8,0 x 10 <sup>2</sup>
Titânio	0,005
Vanádio	Não determinado
Cromo	Não determinado
Manganês	0,002
Ferro	Não determinado
Cobalto	0,002
Níquel	0,009
Cobre	0,002
Zinco	0,002
Arsênio	Não determinado
Selênio	Não determinado
Estrôncio	3,54
Molibdênio	0,004
Cádmio	<0,001
Estanho	<0,001
Antimônio	<0,001
Bário	0,011
Mercúrio	<0,0001
Chumbo	<0,001
Fluoreto	1,5
Cloreto	3,3 x 10 <sup>4</sup>
Brometo	36,5
Iodeto	0,003
Sulfato em SO <sub>4</sub>	4,8 x 10 <sup>3</sup>
Fosfato em HPO <sub>4</sub>	<0,31
Nitrato em NO <sub>3</sub>	<10
Carbonato em CO <sub>3</sub> , em mg de CaCO <sub>3</sub> /L	---
Borato, em mg de Boro/L	<1,0
Bicarbonato em HCO <sub>3</sub> , em mg de CaCO <sub>3</sub> /L	214

<0,001 significa menor do que 0,001 mg/L

**Tabela 3:** Análise química da água (Damazio-Iespa, 2008).

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultado</b>
<b>Cálcio</b>	1500 mg/L
<b>Magnésio</b>	8900 mg/L
<b>Sódio</b>	14300 mg/L
<b>Potássio</b>	698 mg/L
<b>Cloretos</b>	39987 mg/L
<b>Sulfatos</b>	4276,54 mg/L
<b>Fostato</b>	0,49 mg/L
<b>Nitrato</b>	1,85 mg/L

## 6.2 Descrição dos microbialitos

Foram encontrados ao longo da borda nordeste da lagoa, microbialitos dos seguintes tipos: trombólito, estromatólito estratiforme e oncoide dispostos nas estações de coleta como apontado na Tabela 2.

**Tabela 4:** Distribuição dos microbialitos ao longo da lagoa Pitanguinha.

<b>Estação</b>	<b><i>Microbialitos</i></b>		
	<b>Trombólito</b>	<b>Estromatolito Estratiforme</b>	<b>Oncoide</b>
<b>#1</b>		X	X
<b>#2</b>	X	X	
<b>#3</b>			X
<b>#4</b>		X	
<b>#5</b>	X	X	
<b>#6</b>			X
<b>#7</b>	X		

### Trombólitos

Os trombólitos foram encontrados nas regiões de intermaré e supramaré apresentavam-se como uma estrutura litificada de carbonato de cálcio, porosa, côncava e com fenestras (figuras 17 e 18). Não apresentavam laminações evidentes; as cores variam de branca ao bege escuro e sua estrutura macroscópica varia do estratiforme ao dômico, sendo a base caracterizada pela presença de uma coquina. O comprimento médio dos trombólitos foi de 13,5 cm; a largura média, de 7,4 cm, e a espessura média, de 6,3 cm. A espessura média da coquina basal foi de 1,3 cm. Os poros são circulares e rasos, originando cavidades de 1 cm de comprimento em média (figuras 19 e 20). No seu interior foram observados fragmentos de conchas de bivalvíos, microgastrópodes, ostracódios e grãos de quartzo subangulosos a subarredondados.



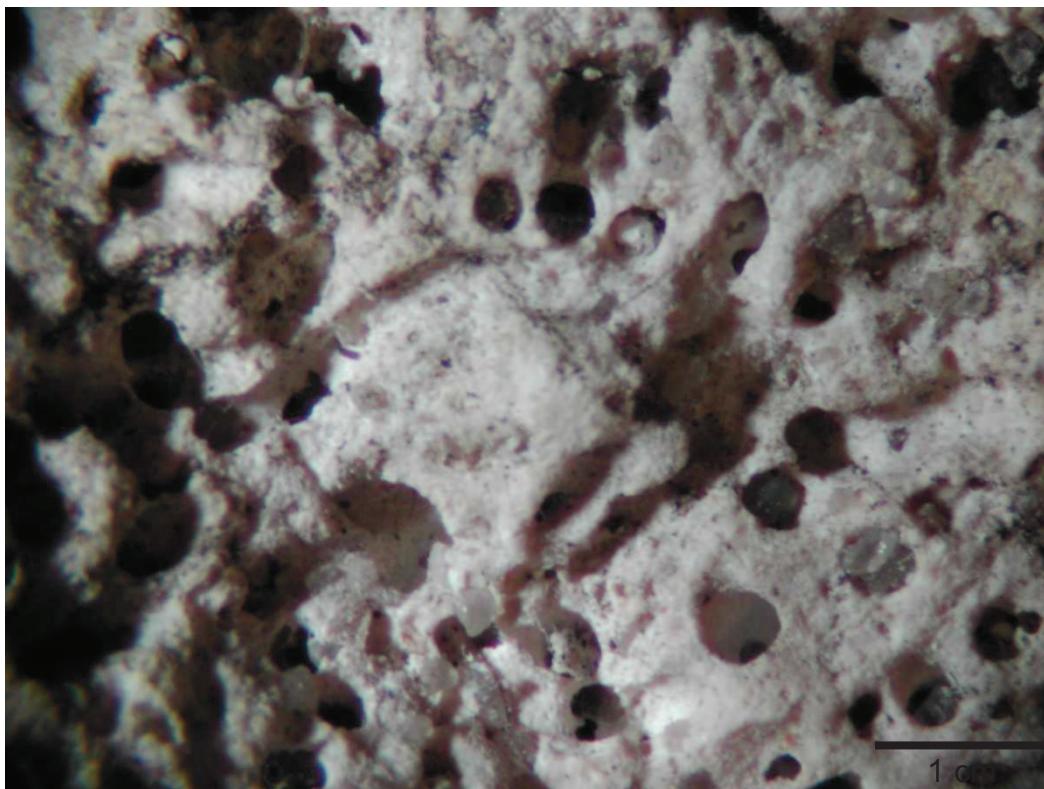
**Figura 17:** Trombólito da estação #2 *in loco* na lagoa Pitanguinha.



**Figura 18:** Aspecto geral do trombólito da estação #5 da lagoa Pitanguinha.



**Figura 19:** Corte lateral de uma amostra de trombólito da estação #7 da lagoa Pitanguinha, detalhe para a coquina na base da estrutura.



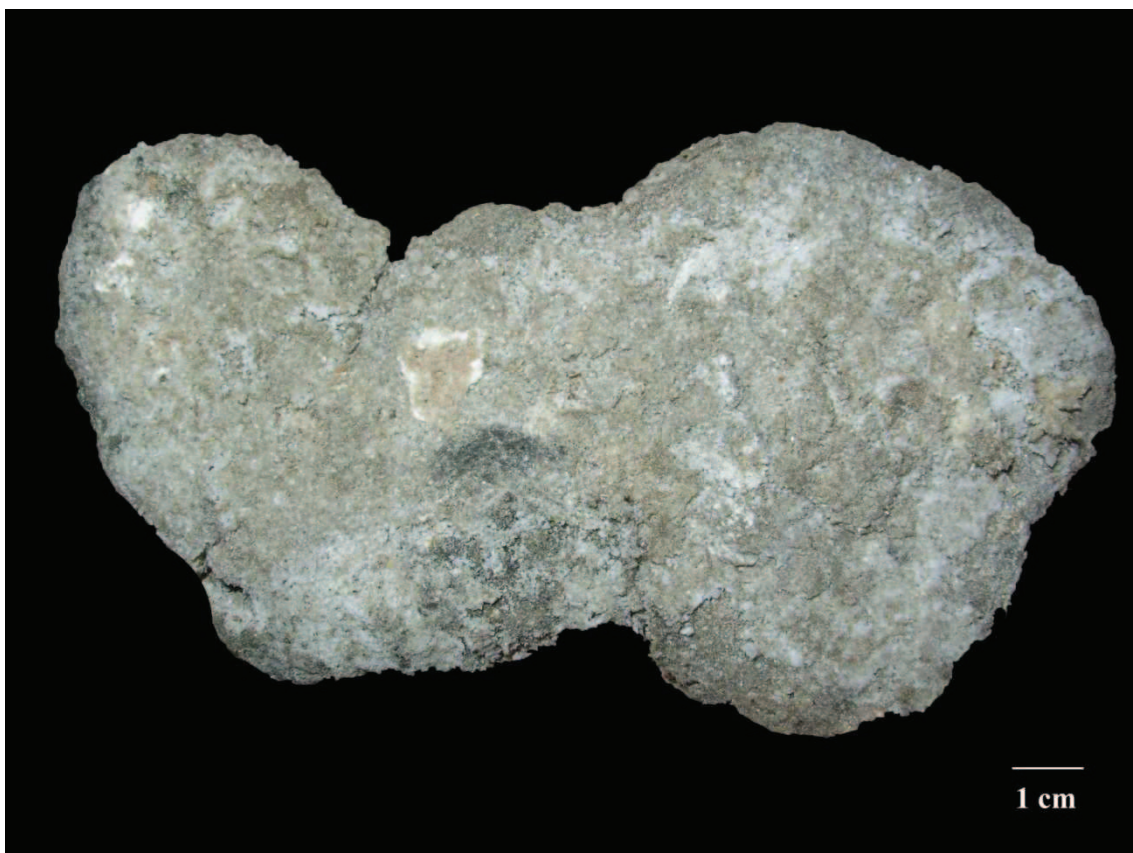
**Figura 20:** Detalhe para os poros formados pela boiturbação dos serpulídeos em uma amostra de tremólito da Estação #7 da lagoa Pitanguinha.

### *Estromatólitos estratiformes*

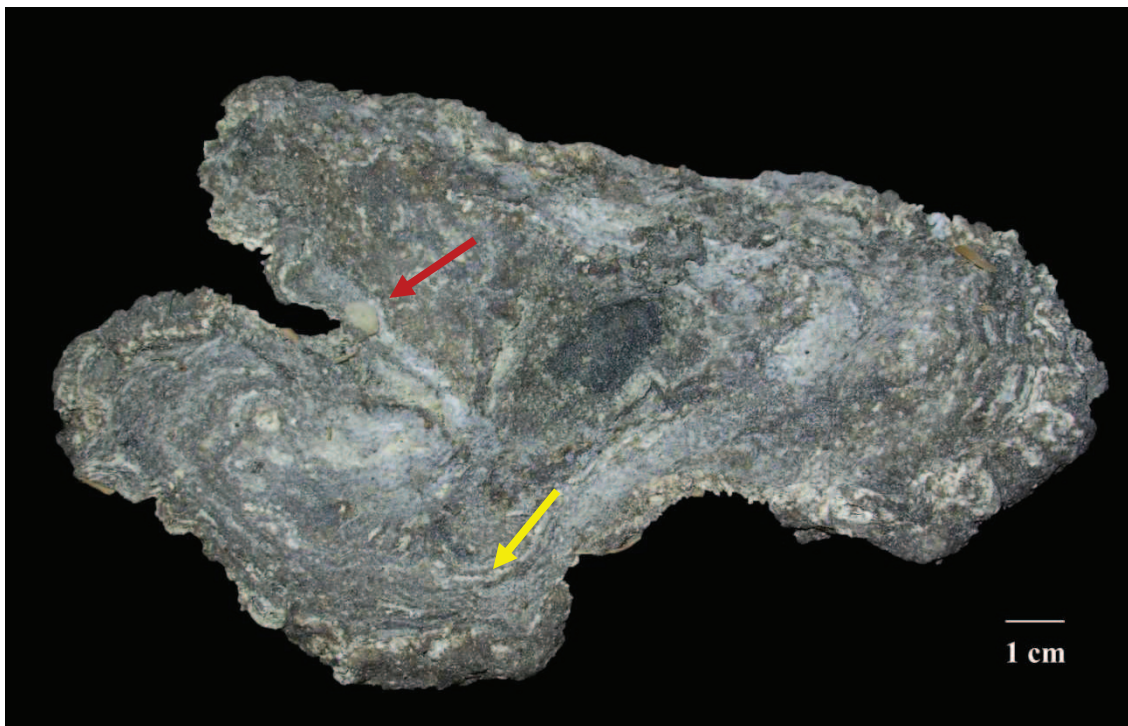
Os estromatólitos estratiformes consistem em placas poligonais planas, compactas, porosas e litificadas, com coloração que varia do cinza claro ao escuro. São encontradas sobre o assoalho arenoso da lagoa (Figura 21). Possuem uma altura média de 1,8 cm, largura de 7,9 cm e comprimento de 23,6 cm e são compostos por laminações de calcário plano-paralelas a onduladas, de espessura milimétricas, micríticas, com alternância de camadas escuras (ricas em matéria orgânica) e claras, estas constituídas de calcita, com microcavidades de 0,3 cm de diâmetro em média. Alguns pelóides aleatórios de calcita estão presentes nas laminações escuras (Figura 22). Apresentam fragmentos de bioclastos (Figura 23) e sua composição mineralógica apresenta calcita, grãos de quartzo, feldspato e mica.



**Figura 21:** Estromatólitos estratiformes da estação #1 *in loco* na lagoa Pitanguinha, sobre as esteiras microbianas.



**Figura 22:** Estromatólito estratiforme da lagoa Pitanguinha estação # 2 (vista superior).



**Figura 23:** Estromatólito estratiforme da lagoa Pitanguinha estação # 2 (vista inferior), detalhe para os bioclastos aderidos ao microbialito (seta vermelha) e as laminações de calcita (seta amarela).

### *Oncoides*

Os oncoides foram verificados apenas na borda noroeste da lagoa, na zona de entremarés, em permanente submersão. A análise das amostras permitiu observar que os exemplares são diminutos, oscilando entre 9,5 e 23,5 mm, com diâmetro médio de 14,9 mm e coloração variando do branco ao cinza escuro (Figura 24).

Exibem formas esféricas, ovais, elipsoidais e irregulares (Figura 25) e não se encontram aderidos ao substrato. Apresentam laminações milimétricas concêntricas, com camadas alternadas claras (com baixa concentração de matéria orgânica) e escuras (alta concentração de matéria orgânica). Estas camadas são irregulares e aparecem com espessuras distintas variando entre 0,5 e 1 mm.

No interior destas construções, na porção central, observa-se que seus núcleos são formados principalmente por restos esqueléticos de bivalvíos e gastrópodes íntegros ou fragmentados (Figura 26) e ocorrem associados as esteiras microbianas lisas.





**Figura 24:** Oncoides e conchas de bivalvios *in loco* na estação #3 na lagoa Pitanguinha, sobre a esteira lisa.



**Figura 25:** Oncoide da lagoa Pitanguinha da estação # 1 (vista superior).



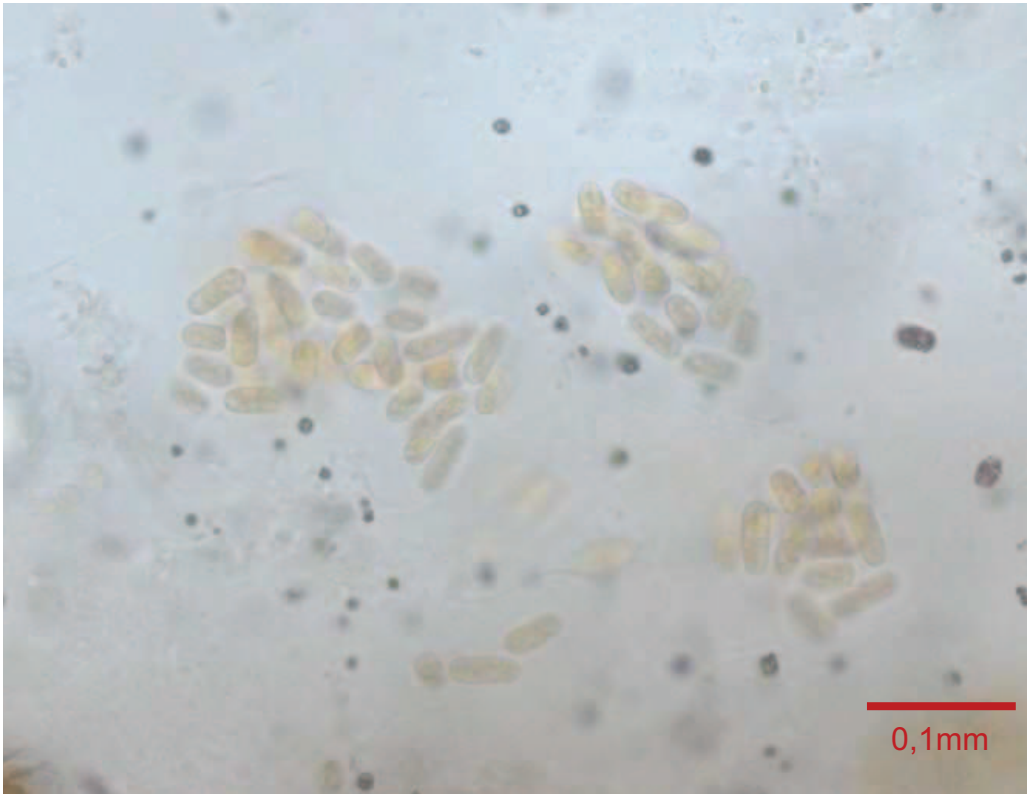
**Figura 26:** Oncoide da lagoa Pitanguinha da estação # 3 (vista inferior), detalhe para as conchas de *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin, 1791, aderidas ao microbialito (seta).

### 6.3 Análise biológica dos microbialitos

#### Trombólitos

Foram verificadas 20 espécies de cianobactérias: *Aphanothece halophytica* Hof & Frémy 1933 (Figura 27); *A. marina* (Ercegovic) Komárek & Anagnostidis 1995; *A. pallida* (Kützing) Rabenhorst 1863; *A. salina* Elenkin & Danilov 1915; *Chroococcus membraninus* (Menenghini) Nägeli 1849; *C. microscopicus* Komárková - Legnerová & Cronberg 1994; *C. minimus* (Keissler) Lemmermann 1904; *C. minor* (Kützing) Nägeli 1849; *C. minutus* (Kützing) Nägeli 1849; *C. turgidus* (Kützing) Nägeli 1849; *Cyanosarcina thalassia* Anagnostidis & Pantazidou 1991; *Entophysalis granulosa* Kützing 1843 (Figura 21); *Gloeocapsopsis crepidinum* (Geitler) Komárek 1993; *Microcoleus chthonoplastes* (Thuret) Gomont 1892; *Phormidium acuminatum* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988; *P. okenii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988; *Pleurocapsa fulginosa* Hauck 1885; *Pseudocapsa dubia* Ercegovic 1925; *P. sphaerica* (Proškina- Lavrenko) Kováæik 1988; *Schizothrix friesii* Gomont 1892 (Figura 28); *Synechococcus elongatus* Nägeli 1849.

O conjunto dos elementos evidenciou a maior representatividade para a família Chroococcaceae Nägeli 1849 com 47,62% das espécies, seguida da Synechococcaceae Komárek & Anagnostidis 1995 com 23,81%, Phormidiaceae Anagnostidis & Komárek 1988 com 14,28%, Hyellaceae Borzi 1914 com 9,53% e Schizothricaceae Elenkin 1934 com 4,76%. Pode-se observar neste microbialito, o predomínio quantitativo das cianobactérias *Schizothrix friesii* Gomont 1892 e *Aphanothece halophytica* Hof & Frémy 1933.



**Figura 27:** Fotomicrografia da cianobactéria *Aphanothece halophytica* Hof & Frémy 1933, espécie predominante na base dos trombólitos da lagoa Pitanguinha.

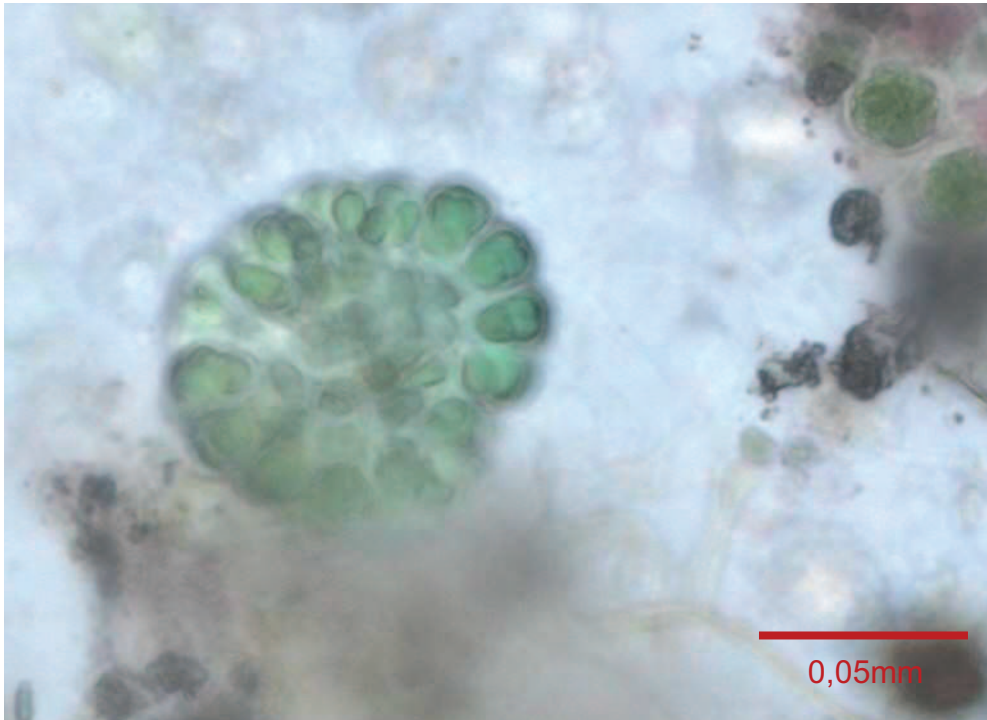


**Figura 28:** Fotomicrografia da cianobactéria *Schizothrix friesii* Gomont 1892, espécie filamentososa predominante no topo dos trombólitos da lagoa Pitanguinha.

Estromatólitos estratiformes

Foram identificadas 30 espécies de cianobactérias: *Aphanothece clathrata* West & West 1906; *A. marina* (Ercegovíc) Komárek & Anagnostidis 1995; *A. salina* Elenkin & Daniloo 1915; *Chroococcus dispersus* (Keissler) Lemmermann 1904; *C. giganteus* W. West 1892; *C. membraninus* (Meneghini) Nägeli 1849; *C. microscopicus* Komarkova-Legnerova & Cronberg 1994; *C. minimus* (Keissler) Lemmermann 1904; *C. minor* Nägeli 1849; *C. minutus* Keissler 1901; *C. turgidus* Nägeli 1849; *Cyanosarcina thalassia* Anagnostidis & Pantazidou 1991 (Figura 29); *Gomphosphaeria aponina* Kützing 1836; *Joanesbaptistia pellucida* (Dickie) Taylor & Drouet 1938; *Leptolyngbya tenuis* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988; *Lyngbya aestuarii* (Liebman) Gomont 1892 (Figura 30); *Microcoleus chthonoplastes* (Thuret) Gomont 1892; *M. tenerrimus* Gomont 1892; *M. vaginatus* (Vaucher) Gomont 1892; *Oscillatoria subbrevis* Schmidle 1901; *Phormidium acuminatum* Gomont 1892; *P. acutum* (Bühhl & Bisw.) Anagnostidis & Komárek 1988; *P. okenii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988; *P. terebriforme* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988; *P. willei* (Gardner) Anagnostidis & Komárek 1988 (Figura 31); *Pseudocapsa dubia* Ercegovíc, 1925 (Figura 32); *Schizothrix arenaria* (Berkeley) Gomont 1892; *S. friesii* (Agardh) Gomont 1892; *Synechococcus elongatus* Nägeli 1849 e *S. salinarum* Komárek 1956.

Observou-se o predomínio da Família Chroococcaceae Nägeli 1849, representando 32,2% dos tipos presentes. As demais famílias observadas apresentaram os seguintes percentuais: Phormidiaceae Anagnostidis & Komárek 1988, com 25,8%; Synechococcaceae Komárek & Anagnostidis 1995, com 19,4%; Schizothricaceae Elenkin 1934, com 6,5%; Oscillatoriaceae Gomont 1892, com 6,5%; Merismopediaceae Elenkin 1933, com 3,2%; Pseudanabaenaceae Anagnostidis & Komárek 1988, com 3,2% e Nostocaceae Bourrelly 1970, com 3,2%. Pode-se observar neste microbialito, o predomínio quantitativo da cianobactéria *Lyngbya aestuarii* (Liebman) Gomont 1892.



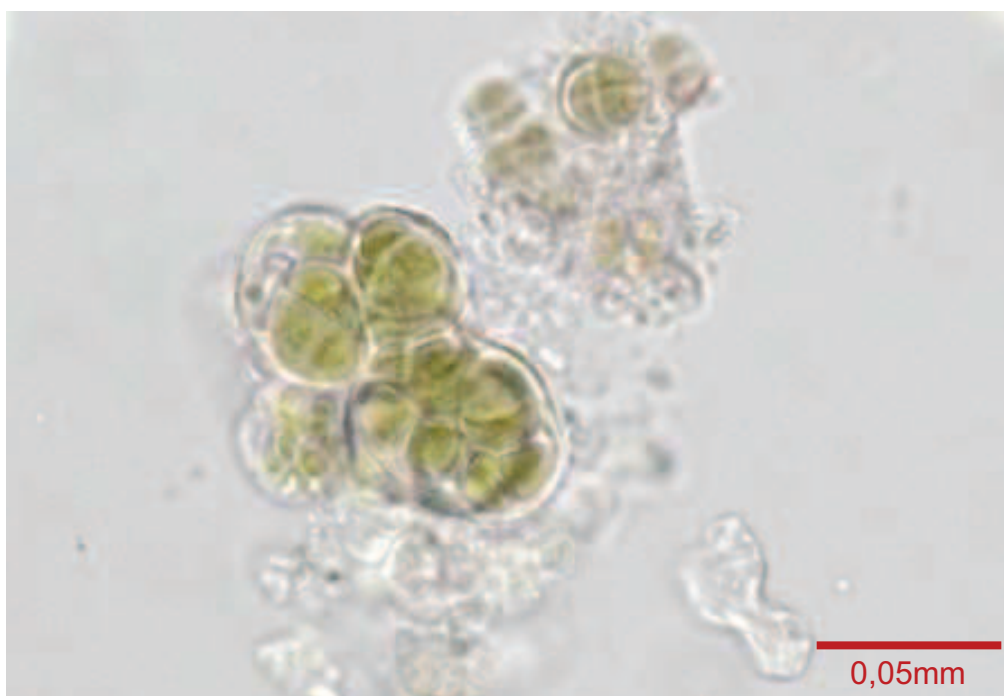
**Figura 29:** Fotomicrografia da cianobactéria *Cyanosarcina thalassia* Anagnostidis & Pantazidou 1991, espécie esférica encontrada nos estromatólitos estratiformes da lagoa Pitanguinha.



**Figura 30:** Fotomicrografia da cianobactéria *Lyngbya aestuarii* (Liebman) Gomont 1892, espécie filamentososa predominante nos estromatólitos estratiformes da lagoa Pitanguinha.



**Figura 31:** Fotomicrografia da cianobactéria *Phormidium willei* (Gardner) Anagnostidis & Komárek 1988, espécie filamentososa encontrada nos estromatólitos estratiformes da lagoa Pitanguinha.



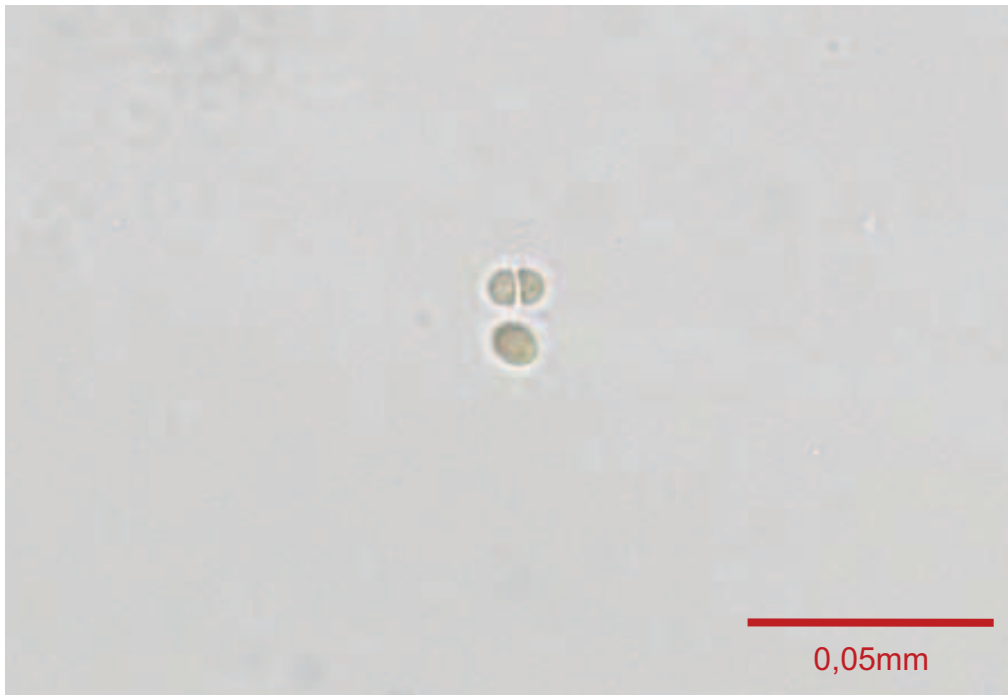
**Figura 32:** Fotomicrografia da cianobactéria *Pseudocapsa dubia* Ercegovic 1925, espécie esférica encontrada nos estromatólitos estratiformes da lagoa Pitanguinha.

### Oncoides

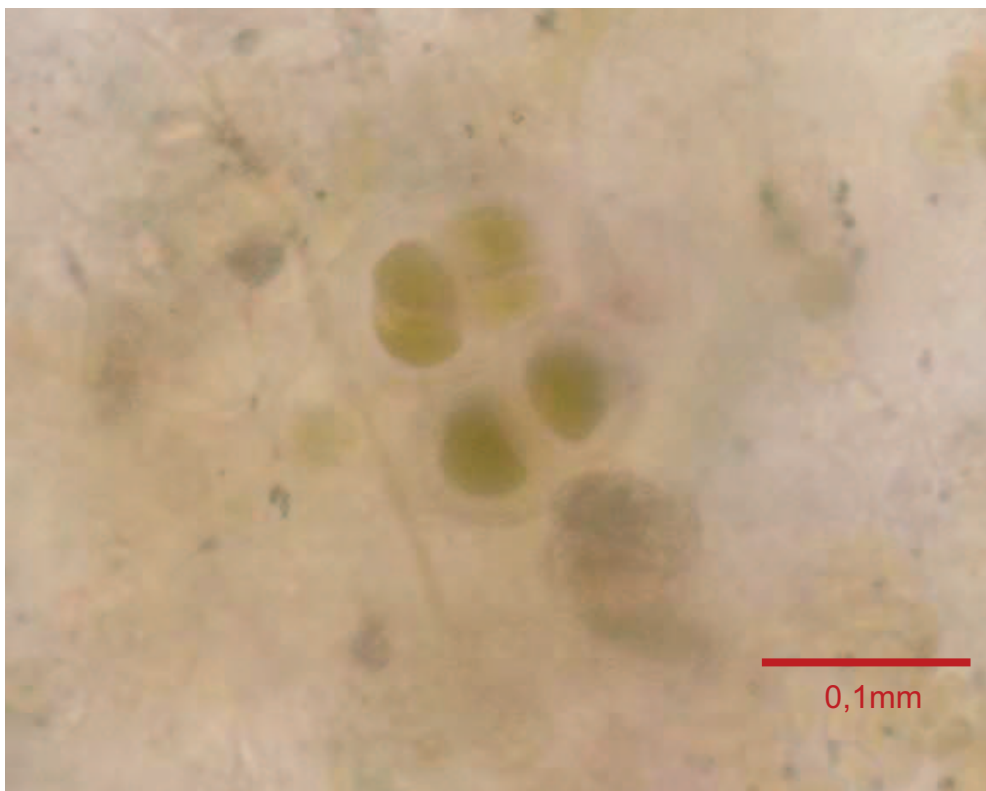
Foram reveladas 18 espécies de cianobactérias: *Aphanothece saxicola* Nägeli 1849, *A. marina* (Ercegovíc) Komárek & Anagnostidis 1995; *A. salina* Elenkin & Daniloo 1915; *Chroococcus membraninus* (Meneghini) Nägeli 1849, *C. microscopicus* Komarkova-Legnerova & Cronberg 1994, *C. minimus* (Keissler) Lemmermann 1904 (Figura 33), *C. minor* (Kützing) Nägeli 1849, *C. minutus* Keissler 1901, *C. quaternarius* Zalessky 1926, *C. turgidus* (Kützing) Nägeli 1849 (Figura 34), *Cyanosarcina thalassia* Anagnostidis & Pantazidou 1991, *Entophysalis granulosa* Kützing 1843 (Figura 35), *Kyrtuthrix maculans* (Gomont) Umezaki 1958, *Microcoleus chthonoplastes* (Thuret) Gomont 1892, *Phormidium okenii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988 (Figura 36), *P. willei* (Gardner) Anagnostidis & Komárek 1988, *Schizothrix friesii* (Agardh) Gomont 1892, *Synechococcus elongatus* Nägeli 1849.

A Família mais representativa é a Chroococcaceae Nägeli 1849 com 53,38%, seguida das famílias Nostocaceae Kützing 1843 e Schizothricaceae Elenkin 1934 com 6,66%, Synechococcaceae Komárek & Anagnostidis 1995 com 13,32%, Phormidiaceae Anagnostidis & Komárek 1988 com 19,98%. *Chroococcus* Nägeli 1849 aparece como o gênero mais representativo com 46,66%. Pode-se observar neste microbialito, o domínio quantitativo da cianobactéria *Entophysalis granulosa* Kützing 1843.

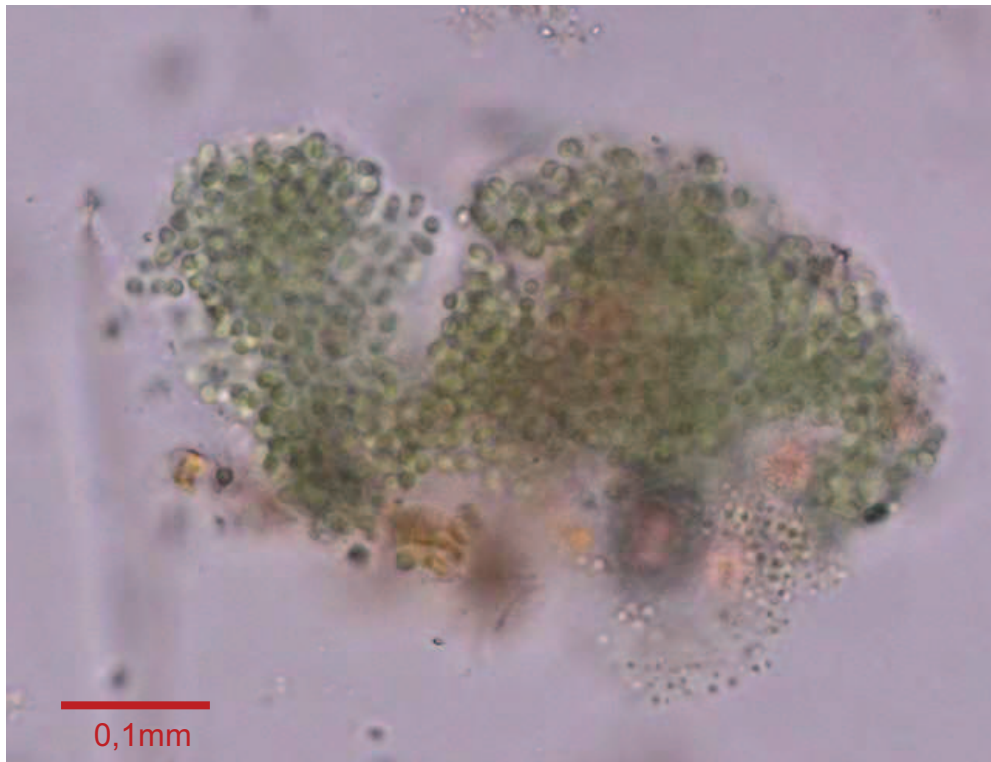




**Figura 33:** Fotomicrografia da cianobactéria *Chroococcus minimus* (Keissler) Lemmermann 1904, espécie esférica presente nos oncoides da lagoa Pitanguinha.



**Figura 34:** Fotomicrografia da cianobactéria *Chroococcus turgidus* (Kützing) Nägeli 1849, espécie esférica encontrada nos oncoides da lagoa Pitanguinha.



**Figura 35:** Fotomicrografia da cianobactéria *Entophysalis granulosa* Kützing 1843, espécie esférica predominante nos oncoides da lagoa Pitanguinha.



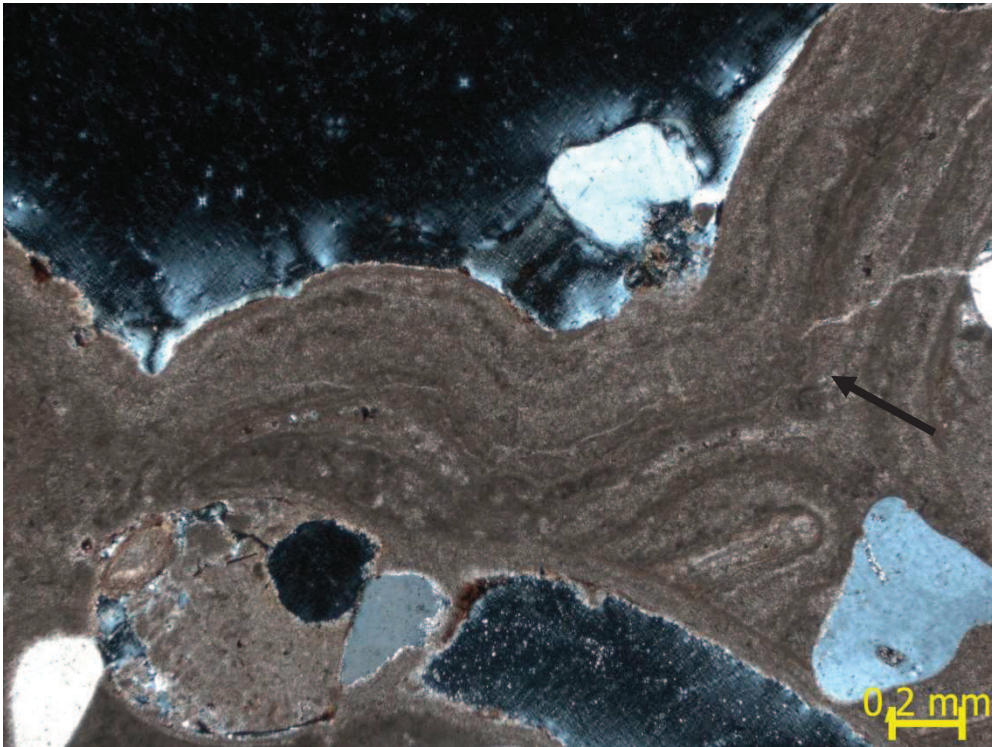
**Figura 36:** Fotomicrografia da cianobactéria *Phormidium okenii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988, espécie filamentosa encontrada nos oncoides da lagoa Pitanguinha (seta).

## 6.4 Microfácies dos microbialitos

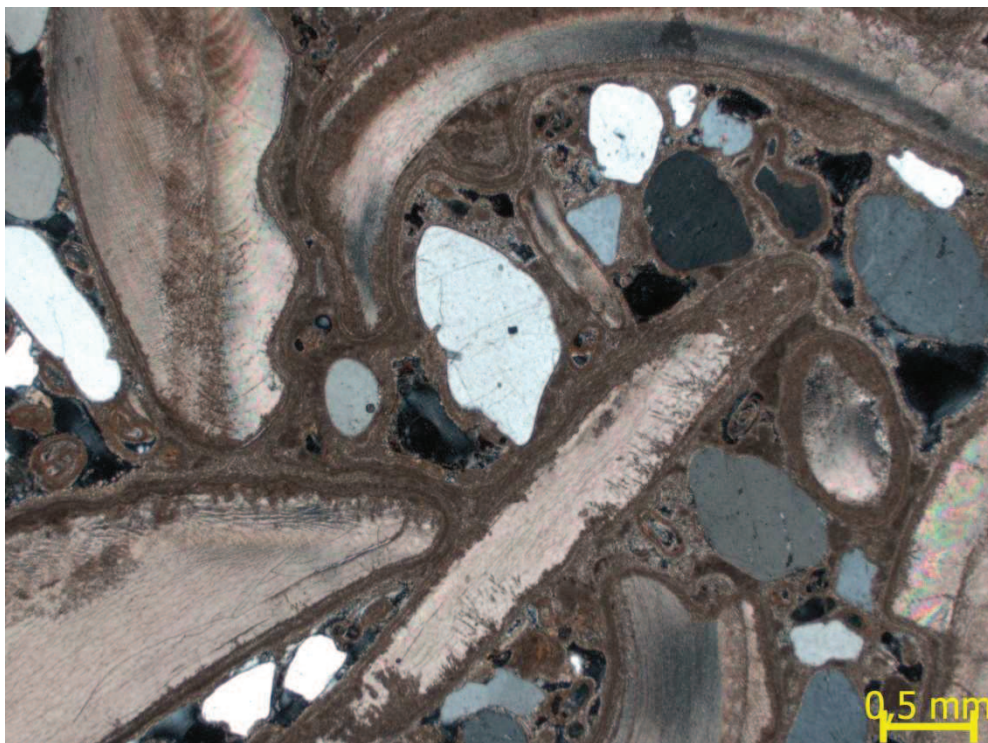
O estudo microestratigráfico das estruturas carbonáticas permitiu a caracterização de quatro microfácies microbianas MM1, MM2, MM3 e MM4 que correspondem a quatro períodos distintos do crescimento das estruturas e a quatro momentos da lagoa.

### 6.4.1 Microfácies MM1

A microfácies MM1 é representada pela base dos trombólitos que demonstra processos de dissolução e bioerosão. Podem ser observados a presença de tubos de serpulídeos do gênero *Terebella* Linnaeus, 1767, ostracódios do gênero *Cyprideis* Jones, 1857 e cracas gênero *Chthamalus* Ranzani, 1817, além de grande quantidade de foraminíferos e bivalvíos da espécie *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin, 1791, cimentados por calcita que estão presentes em diferentes organizações (Figura 37). As partículas carbonáticas observadas são os peloides de calcita e as partículas terrígenas são formadas por grãos de quartzo. Quanto ao processo de diagênese, foi observado franja isópaca marinha de calcita. Com relação à microestrutura, observa-se microlaminações onduladas e difusas de calcita (Figura 38). Foram verificados também compactação plástica, com fraturamento de grãos frágeis, além de contatos côncavos convexos. A granulometria compreende preferencialmente de grãos de quartzo tamanho areia fina a grossa, angulosos a arredondados, moderadamente selecionados.



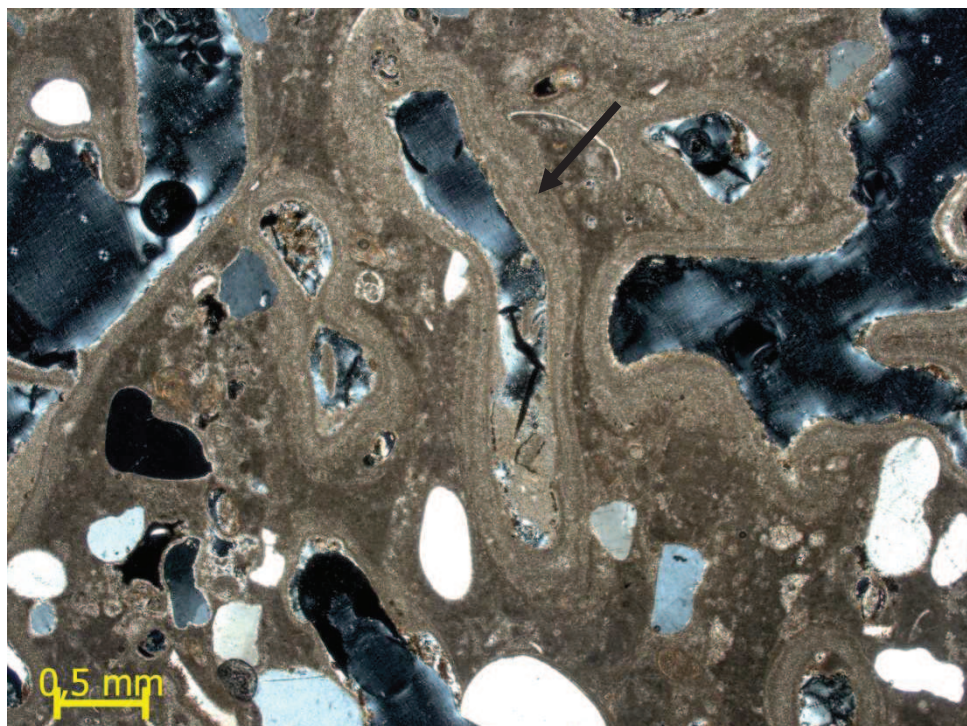
**Figura 37:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicóis cruzados) detalhe para as laminações (seta) encontradas na base dos trombólitos da estação #2.



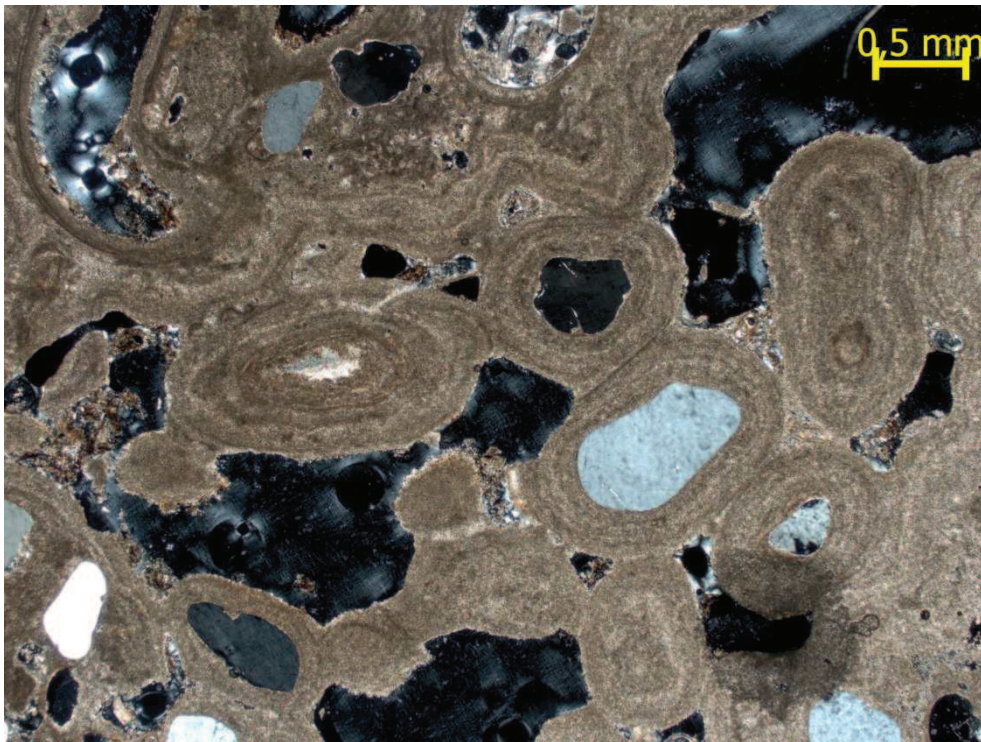
**Figura 38:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicóis cruzados) aspecto da microfacies detalhe para os bioclastos encontrados na base dos trombólitos da estação #6.

#### 6.4.2 Microfácies MM2

O topo dos trombólitos constitui a microfácies MM2. Caracteriza-se pela grande quantidade dos processos de dissolução, bioerosão e porosidade. Foram verificados nesta microfácies um aumento na quantidade dos tubos de serpulídeos (Figura 39) e uma diminuição dos bioclastos, pertencentes principalmente aos grupos dos bivalvíos, gastrópodes e foraminíferos que mostravam-se íntegros e fragmentados. Os bivalvíos encontrados pertencem a espécie *Anomalocardia brasiliana* Gmelin, 1791, ostracódios são do gênero *Cyprideis* Jones, 1857, e os gastrópodes da espécie *Heleobia australis* d'Orbigny, 1835, grãos de quartzo e tubos de serpulídeos do gênero *Terebella* Linnaeus, 1767 cimentados por calcita, além de preenchimento das cavidades por calcita. Foram encontradas partículas carbonáticas peloidais, micro-oncoides de calcita (Figura 40) e grãos de quartzo. Já o processo de diagênese observado foi a franja isópaca marinha de calcita. Em relação à microestrutura foram verificadas microlaminações onduladas e difusas de calcita. Foram observados também compactação plástica, com fraturamento de grãos frágeis. A granulometria compreende preferencialmente de grãos de quartzo tamanho areia fina a média, angulosos a arredondados, bem selecionados.



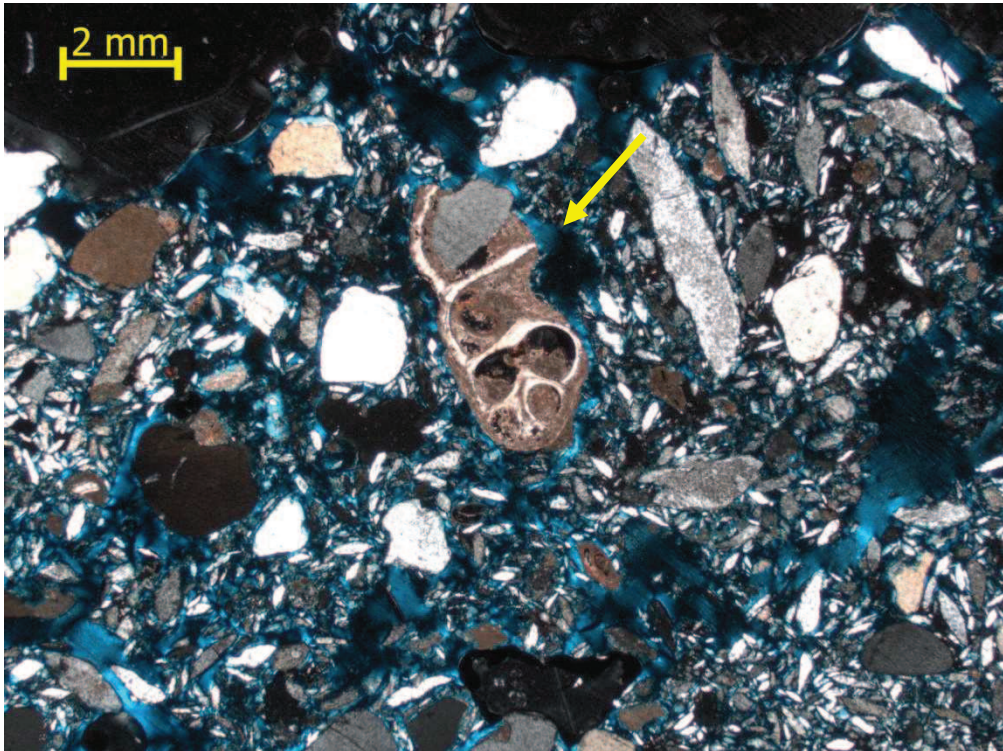
**Figura 39:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicóis cruzados) detalhe para o tubo de serpulídeo (seta) encontrado no topo dos trombólitos da estação #6.



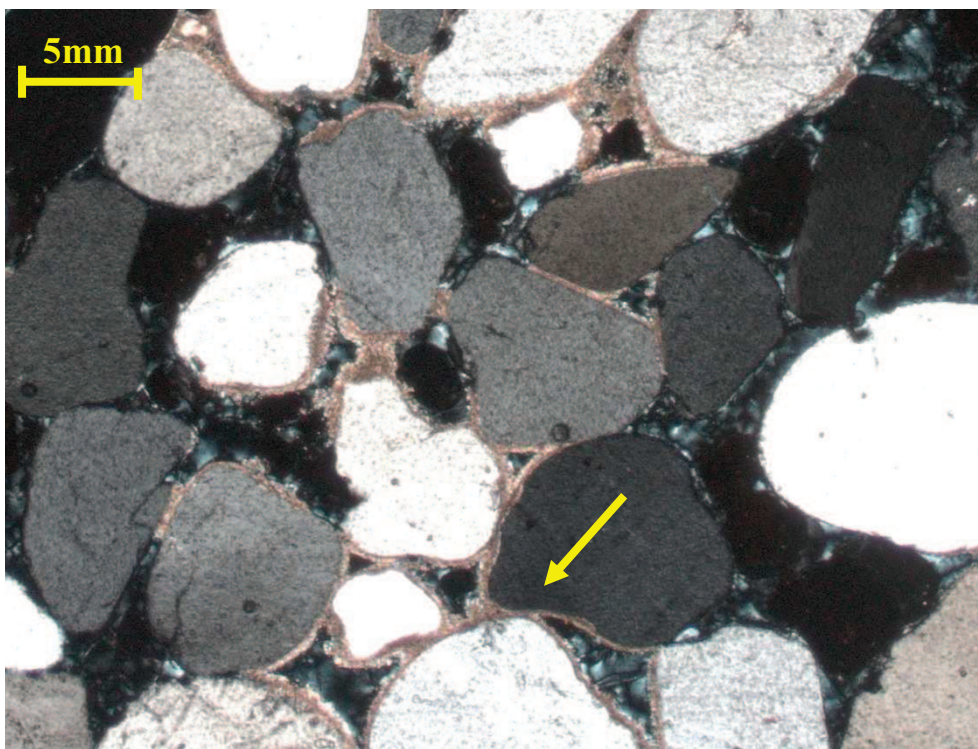
**Figura 40:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) detalhe para os micro-oncoides encontrados no topo dos trombólitos da estação #7.

#### 6.4.3 Microfácies MM3

Os estromatólitos estratiforme (Microfácies MM3) apresentam fragmentos de concha de bivalvíos *Anomalocardia brasiliana* Gmelin, 1791 e gastrópodos das família Buliminae Tryon 1867 e do gênero *Physa* Draparnaud 1801, alóctones reelaborados, com matriz de carbonato (Figura 41). Foram encontradas partículas carbonáticas peloidais cimentados por aragonita, calcita e gipsita e micro-oncoides de calcita e partículas terrígenas de grãos de quartzo. Já o processo de diagênese foi observado franja isópaca marinha de calcita (Figura 42) e alguns ainda demonstraram feição geopetal em aragonita. Também foram observados carbonatos em coágulos, Os cristais de gipsita apresentavam-se com aparência sub-horizontal e eventualmente imbricados alterando a trama original dos grãos. As microestruturas observadas foram as microlaminações crenuladas e contínuas. Observou-se compactação plástica, com fraturamento de grãos frágeis. A granulometria compreende principalmente de grãos de quartzo tamanho areia média superior, bem selecionados e muito bem arredondados. Todas estas características citadas também são verificadas na esteira filme da lagoa Pitanguinha.



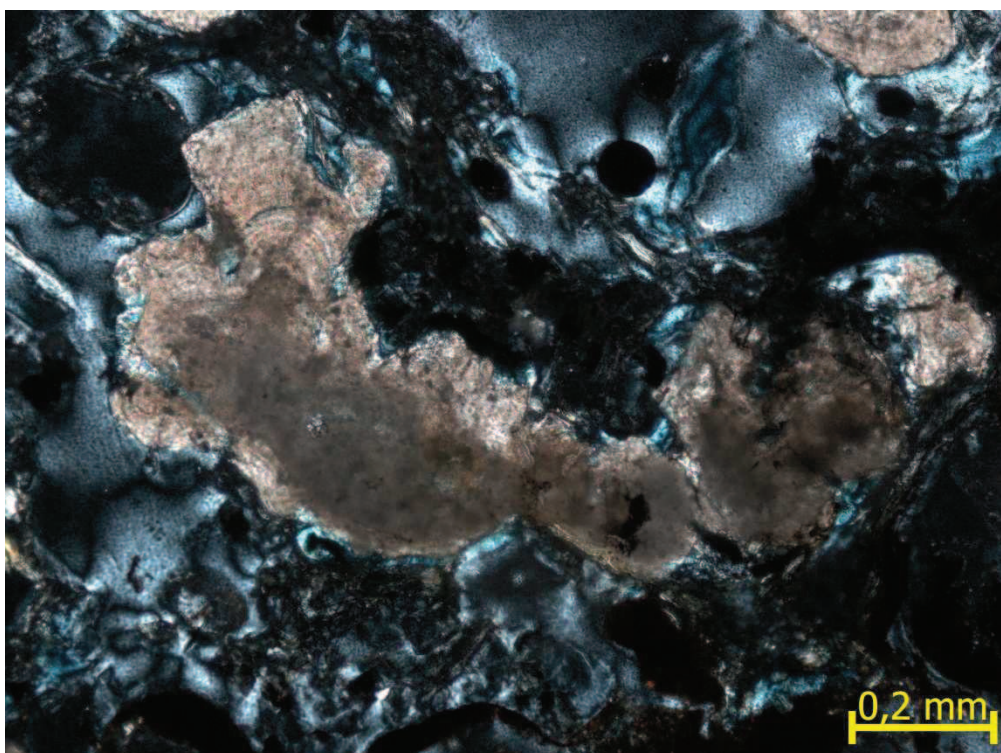
**Figura 41:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicóis cruzados) detalhe para o gastrópodo alóctone reelaborado (seta), com matriz de carbonato encontrado no estromatólito estratiforme da estação #1.



**Figura 42:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicóis cruzados) detalhe para a franja isópaca marinha de calcita nos grãos de quartzo (seta) encontrados no estromatólito estratiforme da estação #2.

#### 6.4.4 Microfácies MM4

Os oncoides são as estruturas constituintes da microfácies MM4 onde são encontrados microfósseis, como por exemplo foraminíferos, bivalvíos da espécie *Anomalocardia brasiliana* Gmelin 1791 e gastrópodes da espécie *Heleobia australis* d'Orbigny, 1835 (Figura 43) . Foram encontradas partículas carbonáticas peloidais e micro-oncoides de calcita além de partículas terrígenas de grãos de quartzo e trama de cianobactérias filamentosas. Nesta microfácies não foram observados processos de diagênese e as microestruturas identificadas foram microlaminações de calcita, contínuas, onduladas e crenuladas, com estrutura interna organizada em micro-oncoide e microestromatólitos (Figura 44). A granulometria é constituída principalmente por grãos de quartzo tamanho areia média superior, moderadamente selecionados com lâminas de calcita. Apresenta compactação plástica, com fraturamento de grãos frágeis. As características observadas nos oncoides também foram encontradas na esteira lisa da lagoa Pitanguinha.



**Figura 43:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicóis cruzados) detalhe para o microestromatólito encontrado no interior do oncoide da estação #7.





**Figura 44:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois cruzados) detalhe para a concha de gastrópodo envolto por uma laminação de calcita encontrado no oncoide da estação#1.

## 6.5 Porosidade nos microbialitos

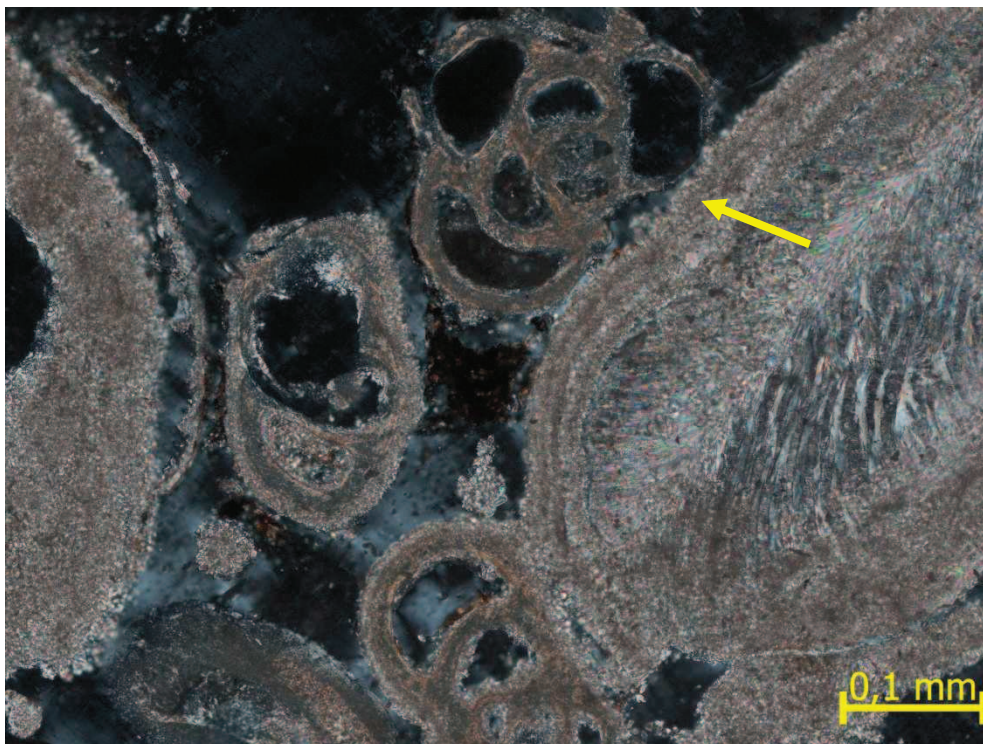
Foram realizados estudos de porosidade dos microbialitos da lagoa Pitanguinha, e observou-se uma variação não somente na quantidade, mas também nos tipos dos poros de acordo com as microfácies observadas.

### *Microfácies MMI*

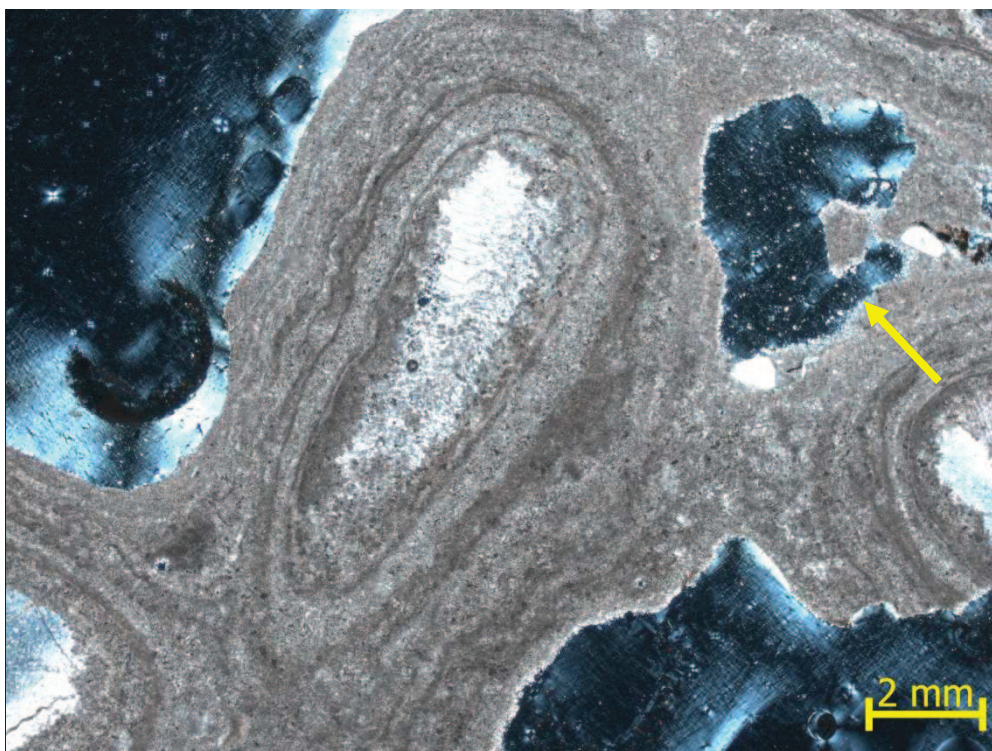
Foi observada nesta microfácies, que de 35 a 45% da área total da lâmina era composta por porosidade primária e os poros encontrados foram classificados como seletivo dos tipos interpartícula, intrapartícula (Figura 45) e não seletivo do tipo vugular (Figura 46) com comprimento, largura e área média variando conforme Tabela 3.

**Tabela 5:** Variação do tamanho dos poros na microfácies 1 dos microbialitos da Lagoa Pitanguinha.

	<i>Tipos de Poros</i>		
	<b>Interpartícula</b>	<b>Intrapartícula</b>	<b>Vugular</b>
<b>Comprimento</b>	1,1 – 1,7 mm	1,0 – 2,1 mm	0,8 – 1,7 mm
<b>Largura</b>	0,02 – 0,6 mm	0,03 – 0,5 mm	0,8 – 3,0 mm
<b>Área Média</b>	0,2 mm <sup>2</sup>	0,18 mm <sup>2</sup>	1,7 mm <sup>2</sup>



**Figura 45:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicos cruzados) detalhe para a porosidade seletiva intrapartícula em um foraminífero (seta) encontrada na microfácies MM1.



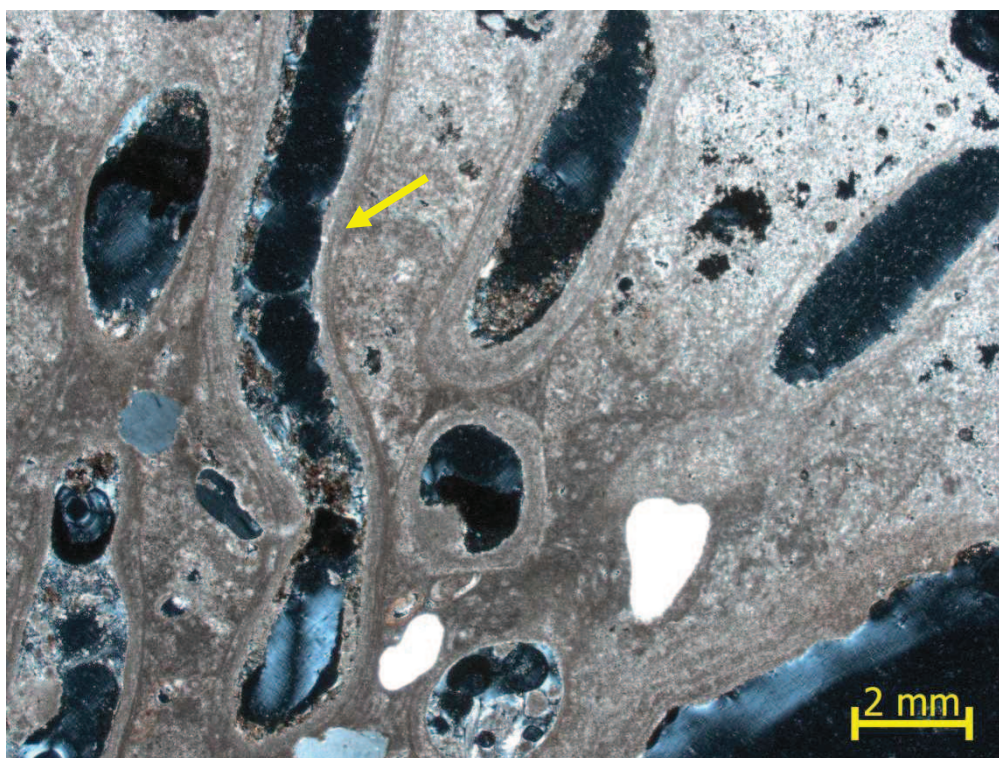
**Figura 46:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicos cruzados) detalhe para a porosidade não seletiva vugular (seta) encontrada na microfácies MM1.

### *Microfácies MM2*

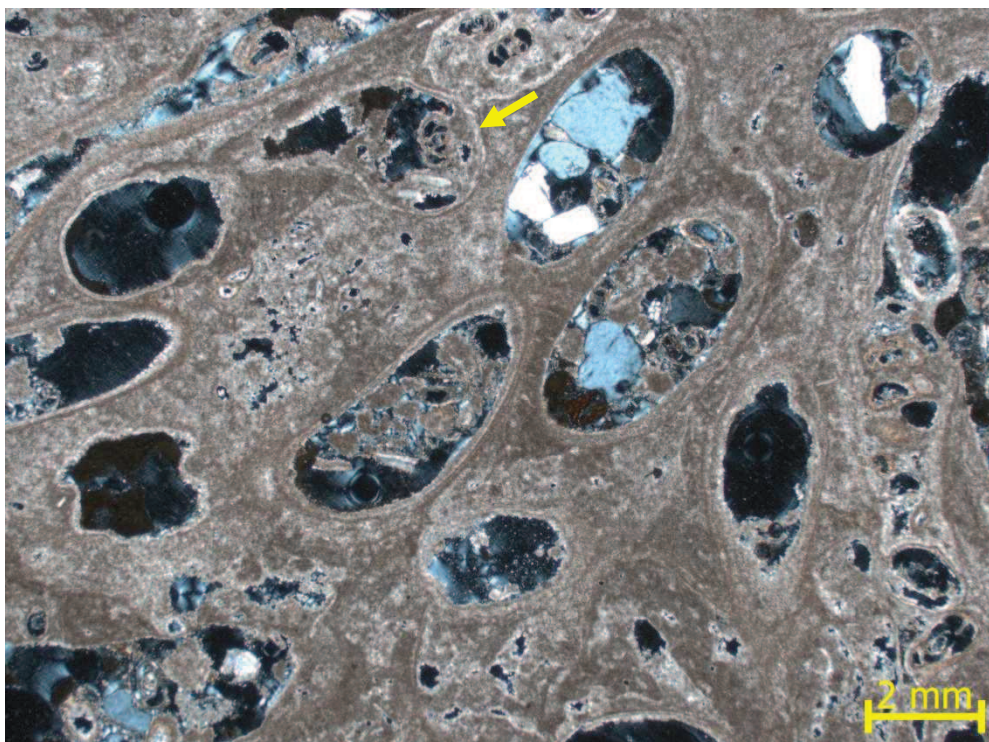
Nesta microfácies foi observada que de 50 a 65% da área total da lâmina era composta por porosidade primária e os poros encontrados foram classificados como seletivo do tipo intrapartícula, não seletivo do tipo vugular e do tipo escavação (Figura 47 e 48), e com comprimento, largura e área média variando conforme Tabela 4.

**Tabela 6:** Variação do tamanho dos poros na microfácies 2 dos microbialitos da lagoa Pitanguinha.

	<i>Tipos de Poros</i>		
	<b>Intrapartícula</b>	<b>Escavação</b>	<b>Vugular</b>
<b>Comprimento</b>	1,04 – 1,66 mm	1,09 – 4,73 mm	1,08 – 2,43 mm
<b>Largura</b>	0,03 – 0,04 mm	0,4 – 2,0 mm	0,01 – 1,35mm
<b>Área Média</b>	0,04 mm <sup>2</sup>	1,0 mm <sup>2</sup>	0,15 mm <sup>2</sup>



**Figura 47:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicóis cruzados) detalhe para a porosidade seletiva escavação por bioerosão de serpulídeos (seta) encontrada na microfácies MM2.



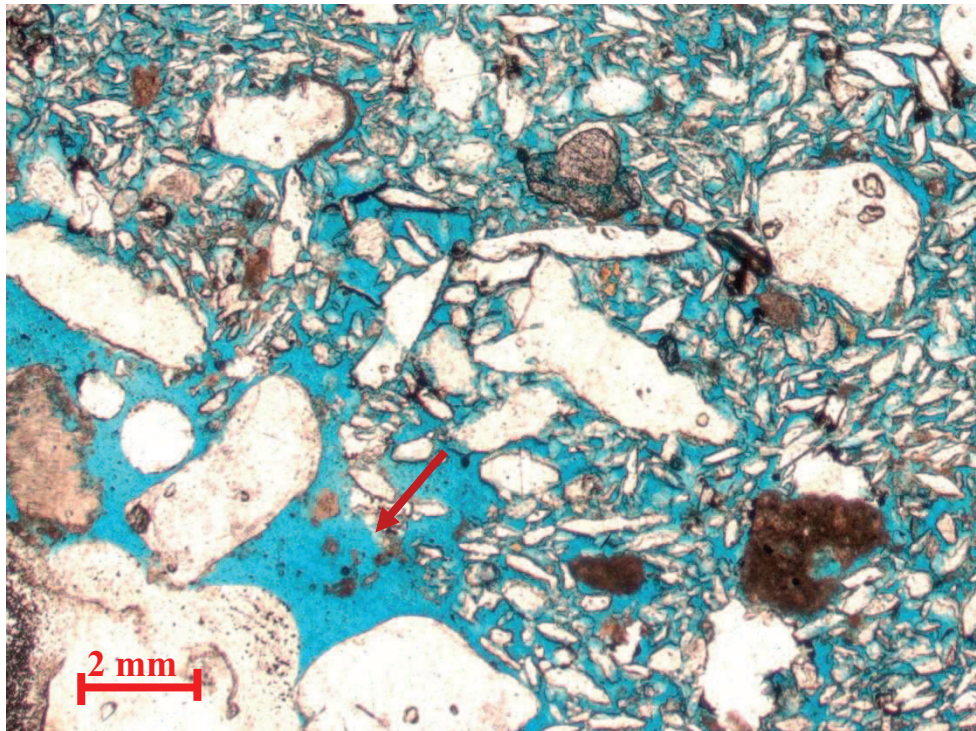
**Figura 48:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicóis cruzados) detalhe para a porosidade seletiva escavação por bioerosão de serpulídeos (seta) com preenchimento por bioclastos (foraminíferos) encontrada na microfácies MM2.

### *Microfácies MM3*

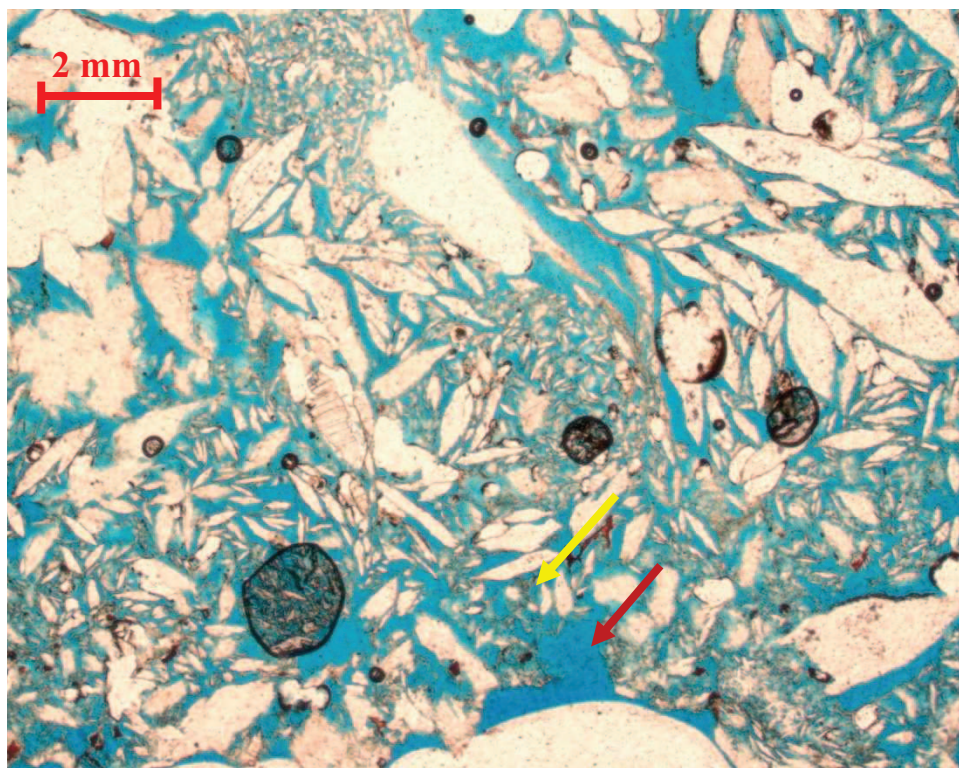
Foi observada nesta microfácies, que de 20 a 35% da área total da lâmina era composta por porosidade primária e os poros encontrados foram classificados como seletivo do tipo interpartícula (Figura 49) e intrapartícula, e não seletivo do tipo vugular (Figura 50), com comprimento, largura e área média variando conforme Tabela 5.

**Tabela 7:** Variação do tamanho dos poros na microfácies 3 dos microbialitos da lagoa Pitanguinha.

	<i>Tipos de Poros</i>		
	<b>Intrapartícula</b>	<b>Interpartícula</b>	<b>Vugular</b>
<b>Comprimento</b>	1,0 – 1,2 mm	1,0 – 1,5 mm	1,0 – 2,0 mm
<b>Largura</b>	0,02 – 0,03	0,02 – 0,5 mm	0,5 – 1,0 mm
<b>Área Média</b>	0,02 mm <sup>2</sup>	0,15 mm <sup>2</sup>	0,2 mm <sup>2</sup>



**Figura 49:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois paralelos) detalhe para a porosidade seletiva interpartícula (seta) encontrada na microfácies MM3.



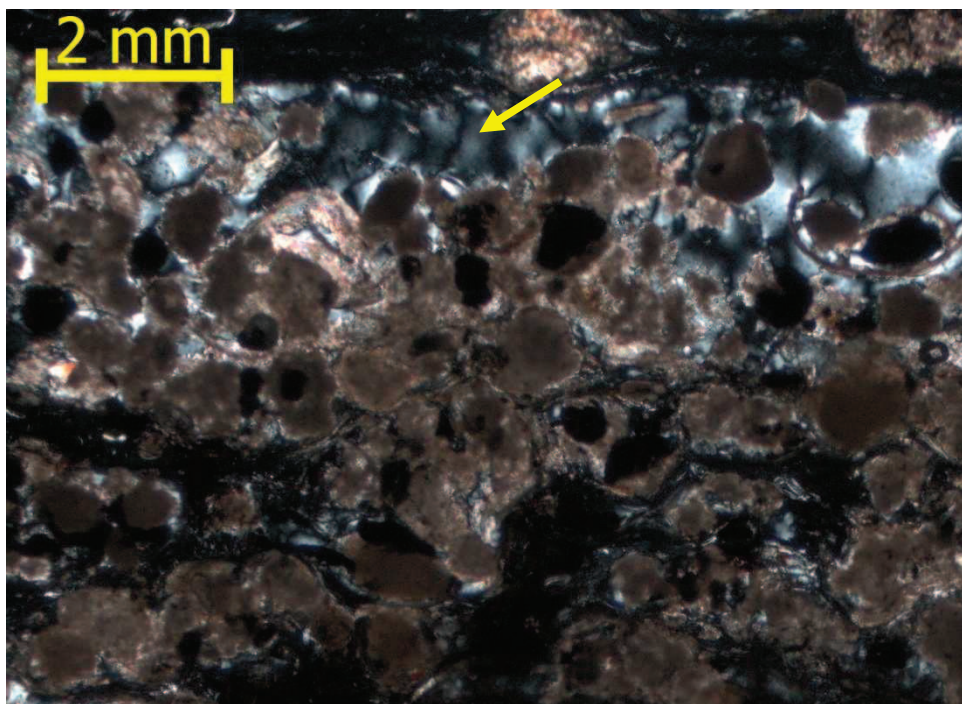
**Figura 50:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicois paralelos) detalhe para a porosidade não seletiva vugular (seta) encontrada na microfácies MM3 e cristais de gipsita.

### *Microfácies MM4*

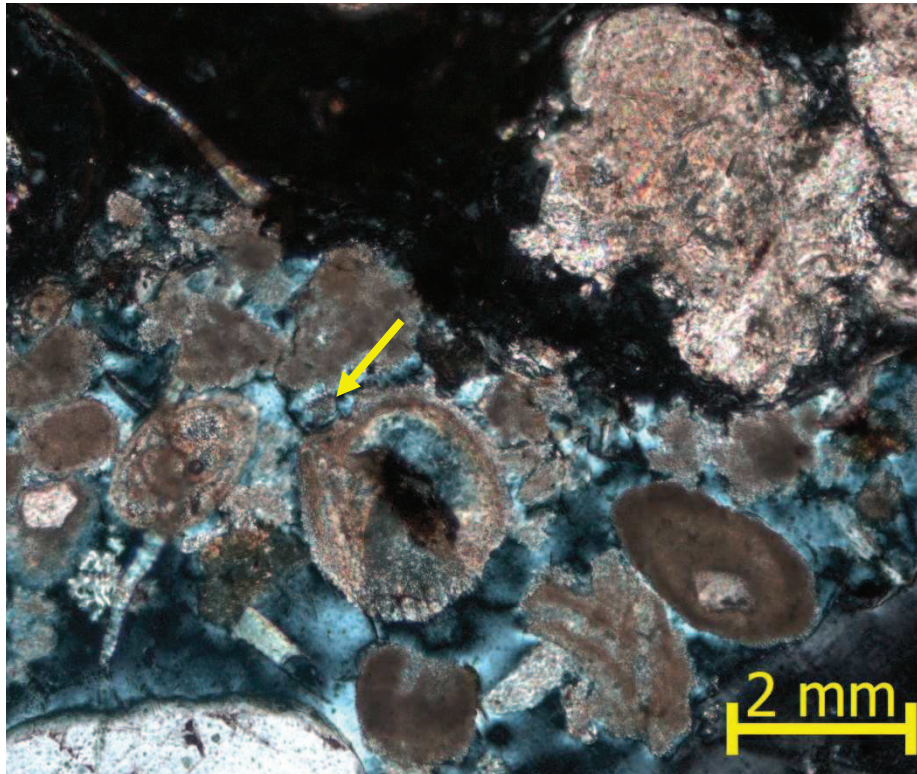
Nesta microfácies foi observada, que de 10 à 25% da área total da lâmina era composta por porosidade primária e os poros encontrados foram classificados como seletivo do tipo interpartícula (Figura 51), intrapartícula (Figura 52) e não seletiva do tipo vugular, com comprimento, largura e área média variando conforme Tabela 6.

**Tabela 8:** Variação do tamanho dos poros na microfácies 3 dos microbialitos da lagoa Pitanguinha.

	<i>Tipos de Poros</i>		
	<b>Intrapartícula</b>	<b>Interpartícula</b>	<b>Vugular</b>
<b>Comprimento</b>	0,8 – 1,4 mm	0,5 – 0,75 mm	0,5 – 1,5 mm
<b>Largura</b>	0,01 – 0,02mm	0,25 – 0,4 mm	0,2 – 0,5 mm
<b>Área Média</b>	0,01 mm <sup>2</sup>	0,1 mm <sup>2</sup>	0,05 mm <sup>2</sup>



**Figura 51:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicóis cruzados) mostrando detalhe para a porosidade seletiva interpartícula (seta) entre os microoncoides encontrada na microfácies MM4.



**Figura 52:** Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicos cruzados) mostrando detalhe para a porosidade seletiva intraparticula (seta) em um foraminífero encontrada na microfácies MM4.



## 6.6 Análise isotópica dos microbialitos

Foi realizada a análise isotópica dos microbialitos por microfácies que revelou os seguintes valores para os isótopos de  $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , conforme dispostos na Tabela 7.

**Tabela 9:** Resultado dos Isótopos  $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  dos microbialitos da lagoa Pitanguinha por microfácies.

	Isótopos		Ambiente
	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	
<b>MM1</b>	-2.438	0.685	Marinho
<b>MM2</b>	-4.488	0.473	Transicional
<b>MM3</b>	-4.336	-0.135	Transicional
<b>MM4</b>	-1.972	1.494	Lagunar (hipersalino)

Com base nos resultados dos isótopos pode-se observar a evolução na formação da lagoa Pitanguinha de acordo com as microfácies. Durante a microfácies MM1 a enseada que daria origem a lagoa estava totalmente aberta, ligada ao Oceano Atlântico, no momento MM2 iniciou-se o fechamento da lagoa, evento este que continua em MM3. Tal evento mostra-se finalizado em MM4 com o completo fechamento da lagoa onde os resultados mostram um ambiente mais salino do que em MM1, mostrando o atual momento hipersalino da lagoa.

## 7 DISCUSSÕES

### 7.1 Parâmetros físico-químico e ambientais

Atualmente a lagoa Pitanguinha é um ambiente com baixa circulação de água, de salgado a hipersalino (58 ‰), alcalino (pH 8,5), dependente do índice de chuvas, da comunicação com a lagoa de Araruama e da ação antrópica das salinas.

A profundidade é um fator limitante para formação dos microbialitos na lagoa Pitanguinha. Na margem da lagoa podem ser observados vários tipos de microbialitos e à medida que se aumenta a profundidade as estruturas vão diminuindo até que em profundidade igual ou superior a 30 cm tais microbialitos não são mais observados.

Como a lagoa apresenta pouca profundidade e sofre ação de ventos fortes durante todo o ano, a água não é estratificada, semelhante ao que ocorre nas lagoas Vermelha (Carvalho, 2007), Pernambuco (Iespa, 2006) e Salgada (Iespa, 2010).

O vento contribui para a concentração das cianobactérias e dos nutrientes nas margens da lagoa, o que facilita a formação das esteiras microbianas, que darão origem aos estromatólitos.

Na lagoa Pitanguinha como em todo o ambiente hipersalino da região dos Lagos, existe uma alta concentração de nutrientes que por sua vez aumentam a quantidade e a variabilidade de espécies de cianobactérias produzindo diversos tipos de microbialitos.

Os microbialitos encontrados na lagoa Pitanguinha estão diretamente relacionados com a ação dos ventos, taxa de luminosidade, níveis de profundidade, presença de nutrientes, circulação de água, comunidade cianobacteriana, presença de organismos associados e tipo de clima.

As observações realizadas nos microbialitos indicam que são constituídos de diversos organismos marinhos, possibilitando concluir que esta lagoa sofreu forte influência marinha, período em que se instalaram definitivamente as espécies resistentes de cianobactérias filamentosas e propiciaram a construção das estruturas carbonáticas microbianas conforme observado por Iespa (2010).

## 7.2 Microbialitos

Os trombólitos ocorrem em águas superficiais com turbulência e alta luminosidade, com isso, favorecem a ação da erosão física concordando com Braga & Martin (1995) e Silva e Silva *et al.* (2005).

Foi verificado que a formação do estromatólito é favorecida pela regularidade temporal, substrato liso, sedimentos variados, competição, salinidade, aporte de nutriente, saturação de carbonato de cálcio, boas condições luminosas, baixa sedimentação, velocidade da corrente, colonização por cianobactérias e ambientes de baixa energia o que vai de acordo com os trabalhos de Braga & Martin (1995); Hipp & Hass (2006); Nehza & Woo (2006); Dupraz *et al.* (2006) e Zanagni *et al.* (2009).

A ação das correntes e as taxas de erosão e deposição sedimentar são parâmetros que ajudam a controlar o crescimento e o desenvolvimento da estrutura estromatolítica de acordo com resultados de Flügel (2004), Noffke & Paterson (2008) e Planavsky & Grey (2008).

Os estromatólitos estratiforme são produzidos a partir de esteiras filme ou poligonal e estão diretamente relacionados com os movimentos da água causados pelo vento conforme também verificado para a lagoa Salgada por Iespa (2010).

Silva e Silva *et al.* (2007) relata que os oncoides distribuem-se na região de pouca profundidade, energia moderada, alta oxigenação, alta incidência luminosa e local em que os fatores ambientais favorecem o desenvolvimento de extensas e complexas comunidades microbianas, igualmente verificados para estes microbialitos na lagoa Pitanguinha.

Alguns microbialitos podem ainda sofrer crenulação devido à hipersalinidade e competição de grupos de cianobactérias por nutrientes corroborando com o verificado por Silva e Silva (2002), Carvalhal (2007) e Iespa (2006).

### 7.3 Microfácies microbianas

A microfácies MM1 é formada por uma coquina com bivalvíos *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin, 1791 cimentados por calcita. Sua função é aumentar a estabilidade para o crescimento do trombólito. A presença de laminações de grãos de quartzo cimentadas por calcita (franja isópaca marinha); tubos de serpulídeos do gênero *Terebella* Linnaeus, 1767, cracas do gênero *Chthamalus* Ranzani, 1817, bivalvíos *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin, 1791, gastrópodos *Heleobia australis* d'Orbigny, 1835, foraminíferos, ostracódios do gênero *Cyprideis* Jones, 1857 cimentados no interior das laminações quartzosas indicam fase de influência marinha.

Nessa microfácies é possível observar a presença de laminações de calcita que foram produzidas por cianobactérias filamentosas.

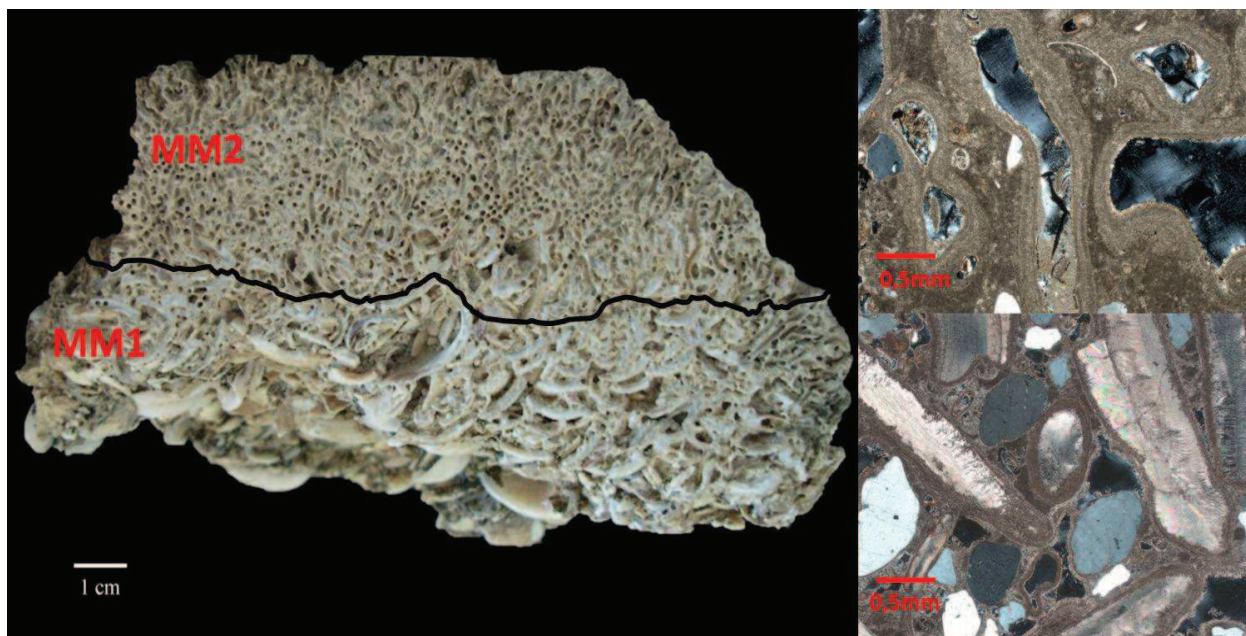
A microfácies MM2 é constituída por uma estrutura carbonática com laminações destruídas, que sofreram as ações de bioerosões por serpulídeos *Terebella* Linnaeus, 1767 e gastrópodos *Heleobia australis* d'Orbigny, 1835. Processos de bioerosão, dissolução e ação das correntes contribuíram para a formação de uma estrutura porosa, fato este justificado pela grande quantidade de poros vulgares encontrados nesta microfácies. Os processos de dissolução carbonática foram causados pelo aporte de água doce. Esta microfácies representa início da formação da lagoa Pitanguinha,

A microfácies MM2 encontrada na lagoa Pitanguinha nos trombólitos apresenta as mesmas características sedimentológicas e microbiológicas da microfácies MM2 observada nos trombólitos e estromatólitos da lagoa Salgada (Iespa, 2010).

Com base no estudo de morfologia, pode-se determinar que o trombólito apresenta, duas microfácies distintas (MM1 e MM2) (Figura 53)

A microfácies MM3 é formada por microlaminações carbonáticas crenuladas e contínuas e a diminuição dos processos de dissolução, bioerosão indicam diminuição da turbulência da água e aumento gradativo da salinidade, indicando um período transicional.

Já os pelóides carbonáticos encontrados nessa microfácies foram formados pela preservação de colônias de cianobactérias cocóides. Os micro-oncoides foram formados pela preservação de cianobactérias cocóides associadas às filamentosas.



**Figura 53:** Correlação de imagens entre o corte vertical do trombólito da lagoa Pitanguinha da estação #7 e as fotomicrografias de uma lâminas petrográficas das microfácies microbianas (MM1 e MM2).

A presença de laminações de grãos de quartzo cimentadas por calcita (franja isópaca marinha e feição geopetal) indica período de influência marinha.

As microfácies MM2 e MM3 indicam uma transição entre o ambiente marinho e o ambiente lagunar semelhante ao encontrado na microfácies MM3 dos estromatólitos da lagoa Salgada (Iespa, 2010).

A microfácies MM4 é dominada por microlaminações contínuas, onduladas e crenuladas e poucos bioclastos, resultado do aumento da salinidade e baixa circulação de água causou a morte gradativa dos organismos que não resistiram essas condições. Com exceção das cianobactérias que são resistentes a estas condições ambientais, produziram laminações onduladas e contínuas de calcita. Essa microfácies representa o final da formação da lagoa Pitanguinha.

Os micro-oncoides encontrados nas microfácies MM3 e MM4 são formados pela associação de cianobactérias cocóides que formam o núcleo da estrutura e as cianobactérias filamentosas que geram as laminações concêntricas associados a um processo mecânico de rolamento da estrutura.

A microfácies MM4 indica um ambiente lagunar com influência marinha, que é mantida graças à presença de um canal de comunicação atual artificial existente entre a lagoa Pitanguinha e a lagoa Araruama, que por sua vez comunica-se diretamente com oceano.

Não há registro de serpulídeos, gastrópodos, cracas, bivalvíos, foraminíferos e ostracódios vivos na lagoa atualmente como que ocorre para as lagoas Pernambuco (Iespa, 2006), Vermelha (Alves, 2007) e Salgada (Iespa, 2010).

As microfácies dos microbialitos da lagoa Pitanguinha compartilham componentes em comum com as microfácies de outros estromatólitos como, por exemplo, as laminações crenuladas, as bioturbações, e a redução da porosidade à medida que nos dirigimos ao topo da estrutura.

Alguns exemplos seriam os estromatólitos da Shark Bay na Austrália (Papineau *et al.*, 2005), estromatólito *biscuit* da lagoa Vermelha (Alves, 2007), estromatólitos e trombólitos em Storr's Lake, Bahamas (Dupraz *et al.*, 2006), estromatólitos, trombólitos da lagoa Pernambuco (Iespa, 2006) e estromatólitos, trombólitos e oncoides da lagoa Salgada (Iespa, 2010).

#### **7.4 Porosidade**

Coelho (2001) relata que as rochas carbonáticas da região pesquisada possuem porosidade geralmente moderada a alta. Entende-se por porosidade a porcentagem de espaços vazios de uma rocha quando comparada com seu volume total. É uma propriedade muito importante das rochas sedimentares e é o caminho natural por onde se movimentam os fluidos contidos nas rochas. Fluidos como água subterrânea, gás e petróleo podem transitar e ser armazenados nos poros das rochas sedimentares.

Os reservatórios carbonáticos representam uma grande parte das reservas mundiais de óleo e gás. Estes reservatórios são constituídos por microbialitos, principalmente por calcários e dolomitas (carbonatos de cálcio e magnésio) sempre exerceram um papel relevante na indústria do petróleo por conterem elevados volumes de óleo e gás natural em muitas bacias sedimentares ao redor do mundo. Estas rochas estão assumindo importância crescente considerando a maturidade exploratória dos reservatórios mais rasos e a necessidade da exploração de reservatórios mais profundos. Enquanto as rochas siliciclásticas apresentam perdas de suas características de reservatório (porosidade e permeabilidade) a altas profundidades, os reservatórios carbonáticos conseguem manterem-se efetivos nestas condições conforme observado por Alves *et al.* (2007).

Os microbialitos encontrados na lagoa Pitanguinha apresentaram diversos tipos de porosidade bem como dimensões variadas de acordo com as microfácies microbianas.

Levando-se em conta a os tipos de poros encontrados nas estruturas e a área ocupada por eles podemos constatar que a microfácies MM2 encontrada no topo dos trombólitos apresenta maior capacidade de atuar como rocha reservatório corroborando com os dados obtidos por Iespa (2010) para a lagoa Salgada.

Logo em seguida, em capacidade de armazenar óleo e gás podemos considerar a microfácies MM1 localizada na base dos trombólitos, a microfácies MM3 localizada nos estromatólitos estratiformes e MM4 encontrada nos oncoides.

Soares (2000) afirma que a escassez de conhecimento sobre os reservatórios carbonáticos dificulta a sua caracterização e presivibilidade, com conseqüente dificuldade de modelagem e simulação.

## 7.5 Isótopos $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$

Os valores das relações isotópicas de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e do oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) em carbonatos dependem inicialmente do seu ambiente de deposição. O  $^{13}\text{C}$  e  $^{18}\text{O}$  são relativamente mais abundantes nas águas dos oceanos e, comparativamente, as águas doces são deficientes nestes isótopos (Rollinson, 1995).

Os valores positivos de  $\delta^{18}\text{O}$  e os valores negativos de  $\delta^{13}\text{C}$  obtidos nas amostras das microfácies da lagoa Pitanguinha são característicos de precipitação carbonática em um ambiente hipersalino, corroborando com os dados obtidos por Santelli (1998) para a lagoa Vermelha.

As variações de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  foram consideradas como indicadores de flutuações de paleossalinidade. Mais recentemente, variações positivas de  $\delta^{13}\text{C}$  em ambientes marinhos têm sido correlacionadas a ciclos transgressivos ou eventos anóxicos, enquanto que variações negativas indicariam ciclos regressivos (Tucker & Wright, 2000). Para a lagoa Pitanguinha os valores negativos de  $\delta^{13}\text{C}$  encontrados nas microfácies sugerem ciclo regressivo.

Os resultados isotópicos encontrados na lagoa Pitanguinha indicam para as microfácies MM1 e MM4 um ambiente com influência marinha e para as microfácies

MM2 e MM3 um ambiente transicional corroborando com os resultados obtidos através da petrografia.

## 7.6 Organismos associados

Segundo estudos de Riding (2000), as cianobactérias filamentosas são responsáveis pelo aprisionamento dos sedimentos e posterior a formação das laminações carbonáticas. Os peloides seriam agregados calcificados de cianobactérias cocóides.

As cianobactérias cocóides são responsáveis pelo preenchimento dos espaços vazios gerados pelos processos de bioerosão e dissolução.

Os trombólitos da lagoa Pitanguinha são formados pela ação das cianobactérias cocóides semelhante aos resultados encontrados na Austrália por Kennard (1994), para lagoa Pernambuco por Iespa (2006) e lagoa Salgada por Iespa (2010).

Na região da Shark Bay, na Austrália, os estromatólitos são construídos pelas cianobactérias *Lyngbya aestuarii* (Liebman) Gomont 1892, *Schizothrix friesii* Gomont 1892 e *Microcoleus chthonoplastes* (Thuret) Gomont 1875 (Kennard, 1994; Burns *et al.*, 2005; Papineau *et al.*, 2005).

A composição biológica dos estromatólitos na ilha de Andros em Bahamas é constituída pelas espécies *Schizothrix friesii* Gomont 1892, *Chroococcus turgidus* (Kützing) Nägeli 1849, *Lyngbya aestuarii* (Liebman) Gomont 1892, *Microcoleus chthonoplastes* (Thuret) Gomont 1875 (Petrisor & Decho, 2004).

Os trombólitos na Austrália são constituídos principalmente pelas cianobactérias cocóides *Chroococcus turgidus* (Kützing) Nägeli 1849 e *Aphanothece saxicola* Nägeli de acordo com Kennard (1994).

Na região da Bavaria na Alemanha os oncoides são formados pelas cianobactérias filamentosas *Schizothrix friesii* Gomont 1892 e cocóide *Aphanothece saxicola* Nägeli 1849 conforme demonstrado por Hagele *et al.* (2006).

Já para a lagoa Pitanguinha os trombólitos são formados pelas cianobactérias filamentosas *Schizothrix friesii* Gomont 1892 e *Aphanothece halophytica* Hof & Frémy 1933. Os estromatolitos estratiforme são constituídos principalmente pelas cianobactérias *Lyngbya aestuarii* (Liebman) Gomont 1892. Os oncoides da lagoa



Pitanguinha apresentam a cianobactéria esférica colonial *Entophysalis granulosa* Kützing 1843 como principal constituinte.

Presença de conchas de moluscos articulada indica que esses animais habitaram a lagoa Pitanguinha anteriormente e não há registro desses animais vivos atualmente.

A grande maioria das conchas de bivalvíos *Anomalocardia brasiliana* Gmelin 1791, foram transportadas pelo mar no processo de transgressão e regressão marinha holocênica, devido a grande quantidade de bivalvíos com conchas desarticuladas e fragmentadas.

Nos microbialitos da lagoa Pitanguinha é muito comum encontrar ostracódios no interior das lâminas de carbonato de cálcio, fato associado à condição hipersalina que causa morte dos ostracódios e acelera o processo de precipitação do carbonato de cálcio pelas cianobactérias.

Os trombólitos da lagoa Pitanguinha apresentam regiões erodidas e perfuradas, devido à ação de pastadores *Heleobia australis* d'Orbigny 1835 e por serpulídeos do gênero *Terebella* Linnaeus, 1767 que contribuíram para a destruição das laminações. Esse mesmo processo bioerosivo também foi observado na lagoa Pernambuco (Iespa, 2006) e na lagoa Salgada (Iespa, 2010).

## 8 CONCLUSÕES

Os microbialitos foram encontrados no interior da lagoa Pitanguinha e em suas paleomargens indicando que a mesma já apresentou dimensões maiores. Durante sua formação sofreu grande influência marinha, passou por momentos de transição e atualmente sua salinidade varia de salgada a hipersalina.

Parâmetros ambientais locais, tais como o controle das marés e nível freático, regime hidrológico de chuvas e de ventos, além de propriedades químicas e físico-químicas das águas, medidos *in loco* e da própria biocenose microbiana (analisada), são discutidos na modelagem da morfologia e da estrutura interna dos microbialitos.

As microfácies MM1 e MM4 representam um ambiente com influência marinha e intensa atividade biológica das cianobactérias. As microfácies MM2 e MM3 indicam um ambiente de transição entre o lagunar e o marinho devido a presença de franja isópaca marinha, aporte de água doce no sistema e diminuição dos bioclastos.

As microfácies MM2 e MM4 representam, respectivamente, o início e o final da formação da lagoa Pitanguinha

As microfácies MM1 e MM2 são consideradas como excelentes reservatórios devido a alta porosidade causada por processos de bioerosão e de dissolução e pela presença de coquinas.

Estudos de microfácies em microbialitos ainda são muito raros e neste presente trabalho foram identificadas 3 microfácies inéditas MM1, MM3 e MM4.

As cianobactérias filamentosas são responsáveis pelo aprisionamento dos sedimentos e posteriormente formação das laminações, já as cianobactérias cocóides são predominantes nos trombólitos preenchendo os espaços vazios.

Os gastrópodos e serpulídeos estão diretamente relacionados aos processos de bioerosão nas estruturas carbonáticas e aumento da porosidade nos microbialitos.

Nas microfácies da lagoa Pitanguinha o estudo dos isótopos  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  indicam precipitação carbonática em ambiente hipersalino num período de regressão marinha.

Os microbialitos da lagoa Pitanguinha apresentaram forte consonância com as descritos para outros ambientes hipersalinos, tanto no Brasil como para outras partes do mundo, mostrando que estas estruturas quando expostas a ambientes físico-químicos similares apresentam comportamento semelhante.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADACHI, N.; EZAKI, Y. & PICKETT, J.W. 2006. Marked accumulation patterns characteristic of Lower Devonian stromatoporoid bindstone: Palaeoecological interactions between skeletal organisms and microbes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, **231**:331-346.
- AITKEN, J.D. 1967. Classification and environmental significance of cryptalgal limestones and dolomites, with illustrations from the Cambrian and Ordovician of southwestern Alberta. *Journal of Sedimentary Petrology*, **37**:1163–1178.
- ALVES, J. L. D.; COELHO, L.C.; BAUND P.; GUEVARA JR, N. O. & WONG, T. 2007. Estabilidade de poços em rochas carbonáticas. *In*: PDPETRO, **IV**, Campinas, 2007. *Trabalho completo*, São Paulo, p.10.
- ALVES, S.A.P.M.N. 2007. *Estudo geomicrobiológico dos estromatólitos biscuit da Lagoa Vermelha (Estado do Rio de Janeiro – Brasil)*. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 141p.
- AMADOR, E.S.; OLIVEIRA, R.F. & PARUCKER, T.M. 1985. *Subsídios para processos de tombamento da Restinga de Massambaba*. FEEMA/ DEP/ DIDEC. Rio de Janeiro, 11p.
- ANAGNOSTIDIS, K. & KOMÁREK, J. 1988. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3 – Oscillatoriales. *Archiv für Hydrobiologie Algological Studies*, **80**(1-4):327- 472.

- ANJOS, A.P.A. 1999. *Caracterização da sedimentação atual de lagoas costeiras do litoral do Estado do Rio de Janeiro para fins de calibração de acordo com as variações paleoambientais e paleoclimáticas*. Dissertação (Mestrado em Geoquímica), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 133p.
- ARENAS, C.; CABRESA, L. & RAMOS, E. 2007. Sedimentology of tufa fácies and continental microbialites from the Palaeogene of Mallorca Island (Spain). *Sedimentary Geology*, **197**:1-27.
- ARMELLA, C. 1994. Thrombolitic-Stromatolitic cycles of the Cambro-Ordovician boundary sequence, precordillera oriental basin, western Argentina. *In*: BERTRAND-SARFATI, J. & MONTY, C. (eds.) *Phanerozoic Stromatolites II*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, p. 421-441.
- ASTIBIA, H.; MARTINEZ-LOPEZ, N.; ELORZA, J. & VICENS, E. 2008. Increasing size and abundance of microbialites (oncolites) in connection with the K/T boundary in non-marine environments from the South Pyrenean Basin (Iberian Peninsula) *In*: REITNER, J.; QUÉRIC, N.V. & REICH, M. (eds.). *Geobiology of stromatolites*. International Kalkowsky Symposium, Universitätsverlag Gottingen, Gottingen, p.43.
- AWRAMIK, S. M. & MARGULIS, L. 1974. *Stromatolite Newsletter*, **2**:5.
- AZEVEDO, M. T. P. 1991. Edaphic blue-green algae from the São Paulo Botanical Garden, Brazil. *Algological Studies*, **64**:503-526.

- BAETA NEVES, M. H. C. 1993. Estudo do crescimento de uma cianofícea (Chroococcale) halofílica em função da temperatura e da salinidade. *Acta Biologica Leopoldensia*, **15**(1):119-132.
- BAETA NEVES, M. H. C. 1992. Estudo das cianofíceas marinhas da região de Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brasil). II – Hormogonae. *Revista Brasileira de Biologia*, **52** (4):641-659.
- BAETA NEVES, M. H. C. 1991. Estudo das cianofíceas marinhas bentônicas da região de Cabo Frio (Rio de Janeiro, Brasil). I – Chroococcales. *Hoehnea*, **18**(1):191-204.
- BAETA NEVES, M. H. C. 1983. Flora ficológica da lagoa hipersalina de Araruama (Estado do Rio de Janeiro - Brasil). 2. Cyanophyceae. *Boletim do Instituto de Pesquisas da Marinha*, **149**:1-19.
- BAETA NEVES, M. H. C. & CASARIN, A. J. 1990. As cianofíceas das salinas de Cabo Frio. *Acta Biologica Leopoldensia*, **12**(1):99-123.
- BAETA NEVES, M.H.C. & MELLO, F.S. 2002. Diversidade ecológica das cianobactérias marinhas no costão rochoso da Enseada da Prainha, Arraial do Cabo, RJ. In: JORNADA FLUMINENSE DE BOTÂNICA, **XXI**, Seropédica, 2002, *Resumo Expandido*, Rio de Janeiro, p.20.
- BAETA NEVES, M. H. C. & TRIBUZI, D. 1992. Lês cyanophycées de la mangrove de la "Ponta do Pai Vitório" de la região de Cabo Frio (RJ, Brésil). *Acta Biologica Leopoldensia*, **14**(2):29-52.

- BARROSO, L.V. 1987. *Diagnóstico ambiental da Lagoa de Araruama – RJ*. Boletim da Fundação Brasileira de Conservação da Natureza, Rio de Janeiro, **22**:30-65.
- BATCHELOR, M.T.; BURNE, R.V.; HENRY, B.I. & SLATYER, T. 2005. Statistical physics and stromatolite growth: new perspectives on an ancient dilemma. *Physica A*, **350**:6-11.
- BATCHELOS, M.T.; BURNE, R. V.; HENRY, B.I. & WATT, S.D. 2000. Deterministic KPZ model for estromatolite laminae. *Physica*, **282**:123-136.
- BLACK, M. 1933. The algal sediments of Andros Island, Bahamas. *Philosophical Transactions Royal Society*, **222**:165-192.
- BRADLEY, W. H. 1929. Cultures of algal oolites. *American Journal of Science*, **218**: 145-148.
- BRAGA, J.C. & MARTIN, J.M. 1995. Controls on microbial dome fabric development along a carbonatesiliciclastic shelf-basin transect, Miocene, SE Spain. *Palaios*, **10**:347-361.
- BRANCO, S. M.; CARDILANE BRANCO, W.; LIMA, H. A. S. & MARTINS, M. T. 1963. Identificação e importância dos principais gêneros de algas de interesse para o tratamento de águas e esgotos. *Revista do Departamento de Águas e Esgotos de São Paulo*, 48-50.

- BRASIL, COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS 1984. *Projeto Lagoa de Araruama/ Relatório final de pesquisa de conchas calcáreas*. CPRM, Rio de Janeiro, **1-2**:362-365.
- BORGHI, L. 2000. Visão geral da análise de fácies sedimentares do ponto de vista da arquitetura deposicional. *Boletim do Museu Nacional Nova Série Rio de Janeiro – Geologia*, **53**:1-26.
- BURNE, R.V. & MOORE, L.S. 1987. Microbialite: organosedimentary deposits of benthic microbial communities. *Palaios*, **2**:241-254.
- BURNS, B.P.; SEIFERT, A.; GOH, F.; POMATI, F.; JUNGBLUT, A.D.; SERHAT, A. & NEILAN, B.A. 2005. Genetic potential for secondary metabolite production in stromatolite communities. *Fems Microbiology Letters*, **243**:293-301.
- CABROL, N. A.; GRIN, E. A.; BORICS, G.; KISS, A.; FIKE, D.; KOVACS, G.; HOCK, A.; KISS, K.; ACS, E.; SIVILA, R.; ORTEGA CASAMAYOR, E.; CHONG, G.; DEMERGASSO, C.; ZAMBRANA, J.; LIBERMAN, M.; SUNAGUA CORO, M.; ESCUDERO, L.; TAMBLEY, C.; ANGEL GAETE, V.; MORRIS, R. L.; GRIGSBY, B.; FITZPATRICK, R. & HOVDE, G. 2004. Short time scale evolution of microbiolites in rapidly receding altiplanic lakes: learning how to recognize changing signatures of life. *Lunar and Planetary Science*, **35**:1044 pdf.
- CADY, S. L., FARMER, J. D., GROTZINGER, J. P., SCHOPF, J. W., STEELE, A. 2003. Morphological biosignatures and the search for life on Mars. *Astrobiology*, **3**(2):351-368.

- CANETA, C.; PROL-LEDESMA, R.M.; TORRES-ALVARADO, I.; GILG, H.A.; VILLANUEVA, R.E. & LOZANO-SANTA CRUZ, R. 2005. Silica-carbonate stromatolites related to coastal hydrothermal venting in Bahía Concepción, Baja California Sur, México. *Sedimentary Geology*, **174**:97-113.
- CARVALHAL, S.B.V. 2007. *Caracterização geomicrobiológica das esteiras microbianas da Lagoa Vermelha (Estado do Rio de Janeiro)*. Dissertação (Mestrado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 126p.
- CARVALHAL, S. B. V. 2003. Bioestratificação cianobacteriana das esteiras microbianas recentes da lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brasil. (Monografia, Bacharelado em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro), 80p.
- CHEKROUN, K.B.; RODRÍGUEZ-NAVARRO, C.; GONZÁLEZ-MUÑOZ, M.T.; ARIAS, J.M.; CULTRONE, G. & RODRÍGUEZ-GALLEGU, M. 2004. Precipitation and growth morphology of calcium carbonate induced by *Myxococcus xanthus*: implications for recognition of bacterial carbonates. *Journal of Sedimentary Research*, **74**(6):868-876.
- CHOQUETTE, P.W. & PRAY, L.C. 1970. Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, **54**(2):207-250.
- COE NETO, R. 1984. Algumas considerações sobre a origem do sistema lagunar de araruama. In: SIMPÓSIO DE RESTINGAS BRASILEIRAS, Niterói, 1984. *Anais*. Rio de Janeiro, p.61-63.



- COELHO, L.C. 2001. *Modelos de Ruptura de Poços de Petróleo*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 167p.
- COHN, F. 1862. Ueber die algen des Karlsbader Sprudels, mit Riacksicht auf die Bildung des Sprudelsinters. *A bh. Schles. Gesell, Vaterl. Cult., Naturwiss. Medicin*, **2**:35-55.
- CPRM, 2011. <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=125&sid=129#extracao> acessado em 20/11/2011.
- CPRM, 1997. Mapa geológico do Neogeno costeiro da Restinga de Massambaba.
- DAMAZIO-IESPA, C.M. 2008. *Estudo sedimentológico e geomicrobiológico das esteiras microbianas da lagoa Pitanguinha, Região dos Lagos, Estado do Rio de Janeiro, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 96p.
- DAMAZIO, C.M. 2004. *Tipificação e bioestratificação cianobactérianas das esteiras microbianas da borda noroeste da Lagoa Pitanguinha, Holoceno do Rio de Janeiro, Brasil*. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 171p.
- DAMAZIO-IESPA, C.M. & BORGHI, L. 2008. Microestratigrafia das estruturas carbonáticas litificadas holocênicas da Lagoa Pitanguinha, Nordeste estado do Rio de Janeiro, Brasil. *In: ENCONTRO DOS PROGRAMAS DE FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS PARA O SETOR DE PETRÓLEO E GÁS UFRJ/ANP.VI*, Rio de Janeiro, 2008. *Resumos*, Rio de Janeiro, Cd-Rom.

- DAVAUD, E. & GIRARDCLOS, S. 2001. Recent freshwater ooids and oncoids from western lake Geneva (Switzerland): indications of a common organically mediated origin. *Journal of Sedimentary Research*, **71**(3):423-429.
- DRAGANITS, E. & NOFFKE, N. 2004. Siliciclastic stromatolites and other microbially induced sedimentary structures in an early Devonian barrier island environment (Muth formation, New Himalayas). *Journal Sedimentary Research*, **74**(2):191-202.
- DUANE, M.J. & AL-ZAMEL, A.Z. 1999. Syngenetic textural evolution of modern sabkha stromatolites (Kuwait). *Sedimentary Geology*, **127**:237-245.
- DUPRAZ, C.; PATTISINA, R. & VERRECCHIA, E.P. 2006. Translation of energy into morphology simulation of stromatolite morphospace using a stochastic model. *Sedimentary Geology*, **185**:185-203.
- DUPRAZ, C.; REID, R.P.; BRAISSANT, O.; DECHO, A.W.; NORMAN, R.S. & VISSCHER, P.T. 2009. Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. *Earth-Science Reviews*, **96**:141-162.
- FELDMANN, M. & MCKENZIE, J. A. 1998. Stromatolite-Thrombolite associations in modern environment, Lee Stocking Island, Bahamas. *Palaios*, **13**:201-212.
- FENTON, C. L. & FENTON, M. A. 1937. Belt series of the north; stratigraphy, sedimentation, paleontology. *Bulletin of the Geological Society of America*, **48**: 1873-1970.

- FERREIRA, A.B.H. 1986. *Novo Dicionário Aurélio de Língua Portuguesa*. Editora Nova Fronteira, São Paulo, p.1348.
- FLÜGEL, E. 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks*. Springer-Verlag, Heidelberg, p.100
- FLÜGEL, E. 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks*. Second Edition, Springer-Verlag Heidelberg, p.984.
- FONSECA, M.C. 2002. *Avaliação de índice de risco ecológico potencial para a contaminação por metais pesados. Caso das lagoas do leste fluminense* Dissertação (Mestrado em Geoquímica), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 116p.
- FORMIGLI, J. M. 2008. Santos Basin Pre-Salt Cluster: How to make production development technical and economically feasible, [http://www.rioilgas.com/RioOilGas\\_2008\\_Formigli.pdf](http://www.rioilgas.com/RioOilGas_2008_Formigli.pdf) acessado em fevereiro de 2009.
- FRANTESI, S.E.; LYNCH, F.L.; KIRKLAND, B.L. & BROWN, L.R. 2004. Effects of SEM preparation techniques on the appearance of bacteria and biofilms in the carter sandstone. *Journal of Sedimentary Research*, **74**(6):858-867.
- FRIEDMAN, G.M.; SANDERS, J.E. & KOPASKA-MERKEL, D.C. 1992. *Principles of sedimentary deposits*. Macmillan Publishing Company. 717p.

- GARCIA – BAPTISTA, M. & BAPTISTA, L. R. M. 1992. Algas psâmicas de Jardim Beira – Mar, Capão da Canoa, Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Biologia*, **52**(2):325-342.
- GAUTRET, P.; CAMOIN, G.; GOLUBIC, S. & SPRACHTA, S. 2004. Biochemical control of calcium carbonate precipitation in modern lagoonal microbialites, Tikehan atoll, french Polynesia. *Journal of Sedimentary Research*, **74**(4):462-478.
- GINSBURG, R. N., ISHAM, L. B., BEIN, S. J. AND KUPERBERG, J. 1954. Laminated algal sediments of South Florida and their recognition in the fossil record. *Marine Laboratory University of Miami*, 33p.
- GOLUBIC, S. 1991. Modern stromatolites: A review. In: RIDING, R. (ed.). *Calcareous Algae and Stromatolites*. Springer-Verlag, Berlin, p.541-561.
- GOOGLE EARTH. 2008. <<http://www.earth.google.com>>, acessado em 25 de abril de 2008.
- GROTZINGER, J.P.; WATTERS, W.A. & KNOLL, A.H. 2000. Calcified metazoans in thrombolite-stromatolite reefs of the terminal Proterozoic Nama Group, Namibia. *Paleobiology*, **26**(3):334-359.
- HAGELE, D.; LEINFELDER, R.; GRAU, J.; BURMEISTER, E.G. & STRUCK, U. 2006. Oncoids from the river Alz (southern Germany) Tiny ecosystems in a phosphorus – limited environment. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, **237**:378-395.
- HALL, J. 1883. Cryptozoon. *Annual Report of the Trustees*, **36**:6.

- HEINDEL, K.; WISSHAK, M. & WESTPHAL, H. 2008. Microbioerosion in microbialites and corals from Tahitian post- LGM reefs (IODP310). *In*: REITNER, J.; QUÉRIC, N.V. & REICH, M. (eds.). *Geobiology of stromatolites*. International Kalkowsky Symposium, Universitätsverlag Gottingen, Gottingen, p.79.
- HIPP, K. & HAAS, J. 2006. Calcimicrobial stromatolites at the Permian-Triassic boundary in a western Tethyan section, Bukk Mountains, Hungary. *Sedimentary Geology*, **185**:239-253.
- HORODYSKI, R.J. & HAAR, S.P.V. 1975. Recent calcareous stromatolites from Lagoa Mormona (Baja California) Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology*, **45**(4):894-906.
- IANNUZZI, R. & VIEIRA, C. E. L. 2005. *Paleobotânica*. 1ª ed., Ed.UFRGS, Rio Grande do Sul, p.36-47.
- IESPA, A.A.C. 2010. *O Plexo Estromatólito-Trombólito-Oncóide, lagoa Salgada, Estado do Rio de Janeiro, Brasil*. Tese (Doutorado em Geologia) Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 105p.
- IESPA, A.A.C. 2006. *Estudo geomicrobiológico da Lagoa Pernambuco, Região dos Lagos (Estado do Rio de Janeiro)*. Dissertação (Mestrado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 116p.

- IGNACCOLO, M.; SCHWETTMANN, A.; FAILLA, R.; STORRIE-LOMBARDI, M.C. & GRIGOLINI P. 2004. Stromatolites: Why do we care? *Chaos, Solitons and Fractals*, **20**:145–148.
- JAIN, S.K.; KHAN, A.A. & RAI, M.K. 2010. *Geomicrobiology*. CRC Press, New York 316p.
- JONES, B. 2011. Biogenicity of terrestrial oncoids formed in soil pockets, Cayman Brac, British West Indies. *Sedimentary Geology*, **236**:95-108.
- KALKOWSKY, E. 1908. Oolith und Stromatolith im norddeutschen Buntsandstein. *Zeitschrift Deutsche Geologisches*, **60**:68-125.
- KENNARD, J.M. 1994. Thrombolites and stromatolites within shale-carbonate cycles, middle-late Cambrian Shannon formation. Amadeus basin, Central Australia. *In*: BERTRAND-SARFATI, J. & MONTY, C. *Phanerozoic Stromatolites II*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, p.443-471.
- KENNARD, J.M. & JAMES, N.P. 1986. Thrombolites and Stromatolites: two distinct types of microbial structures. *Palaios*, **1**:492-503.
- KILE, D.E.; EBERL, D.D.; HOCK, A.R. & REDDY, M.M. 2000. An assessment of calcite crystal growth mechanisms based on crystal size distributions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **64**:2937-2950.
- KNOLL, A. 2003. *Life on a Young Planet: the First Three Billion Years of Evolution on Earth*. Princeton University Press. Princeton, 277p.

- KOMÁREK, J. & ANAGNOSTIDIS, K. 1999. *Süßwasserflora von mitteleuropa. Band 19/1: Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales*. Gustav Fischer, Stuttgart, 548 p.
- KOROLYUK, I. K. 1960. Subdivision of the Cambrian and Precambrian of eastern Siberia according to stromatolites. In: International Geological Congress 21st, Copenhagen, **8**:113-118.
- LAMEGO, A. R. 1945. Ciclo evolutivo das lagoas fluminenses. *Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de Janeiro*. **118**:1404- 1434.
- LANDRUM, N.W. 2007 Characterizing and interpreting the microstratigraphy of a stromatolite/thrombolite from a hypersaline island lake, San Salvador, Bahamas. *Annual Meeting Southeastern Section Geological Society America*, **39**:(2)69.
- LITTLE, B.J.; WAGNER, P.A. & LEWANDOWSKI, Z. 1997. Spatial relationships between bacteria and mineral surfaces In: BANFIELD, J.F. & NEALSON, K.H. *Geomicrobiologia: Interactions between microbes and minerals*. Minerals Society of America, Washington, **35**:123-160.
- LOGAN, B.W. 1961. Cryptozoon and associated stromatolites from the recent, Shark Bay, western Australia. *The Journal of Geology*, **69**(5):517-533.
- LOPES, C.E.A. 1988. *Estudo em laboratório de absorção do metal cobre pelo tapete de algas bêmicas da Lagoa Vermelha - Município de Araruama - Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestrado em Geoquímica), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 56p.

- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. 1987. Quaternary evolution of the central part of the Brazilian coast. The role of relative sea-level variation and of shoreline drift. *UNESCO Reports in Marine Science: Quaternary coastal geology of West Africa and South America*, **43**:97-145.
- MASLOV, V. P. 1939. The genus *Collenia*. *Problems of Paleontology (Univ. Moscow)*, **5**:297- 305.
- MASSE, J.P.; FENERCI-MASSE, M.; KORBAR, T. & VELIC, I. 2004. Lower Aptian rudist faunas (bivalvia, Hippuritoidea) from Croatia. *Geologia Croatia*, **57**(2):117-137.
- MATTHEW, G.F. 1890. Eozoon and other low organisms in Laurentian rocks at Saint John. *Natural Historic Society New Brunswick Bulletin*, **2**(9):36-41.
- MAWSON, D. 1925. Evidence and indications of algal contributions in the Cambrian and pre-Cambrian limestones of South Australia. *Transactions Royal Society of South Australia*, **49**:186-190.
- MELO, S. & HUSZAR, V.L.M. 2000. Phytoplankton in an amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Brasil): diel variation and species strategies. *Journal of Plankton Research*, **22**(1):63-76.
- MENDES, J.C. 1984. *Elementos da Estratigrafia*. T.A. Queiroz EDUSP, São Paulo, 566p.



- MINGXIANG, M. 2007. Revised classification of microbial carbonates: complementing the classification limestones. *Earth Science Frontiers*, **14**:(5)222-234.
- MUEHE, D. & VALENTINI, E. 1998. *O litoral do estado do Rio de Janeiro: uma caracterização físico ambiental*. Femar, Rio de Janeiro, 98p.
- NEHZA, O. & WOO, K.S. 2006. The effect of subaerial exposure on the morphology and microstructure of stromatolites in the Cretaceous Sinyangdong Formation, Gyeongsang Supergroup, Korea. *Sedimentology*, **53**:1121-1133.
- NOFFKE, N. & PATERSON, D. 2008. Microbial interactions with physical sediment dynamics, and their significance for the interpretation of Earth biological history. *Geobiology*, **6**:1-4.
- OLIVEIRA, E.C.; HORTA, P.A.; AMANCIO, C.E. & SANT'ANNA, C.L. 2000. *Algas e angiospermas marinhas bênticas do litoral brasileiro: diversidade, exploração e conservação*. IBAMA, Brasília, 60p.
- PAPINEAU, D.; WALKER, J.J.; MOJZSIS, S.J. & PACE, N.R. 2005. Composition and structure of microbial communities from stromatolites of Hamelin Pool in Shark Bay, western Australia. *Applied and Environmental Microbiology*, **71**(8):4822-4832.

- PATCHINEELAM, S. R., REBELLO, A. L. & MOREIRA, I. 1984. Ocorrência de dolomita diagenética numa lagoa hipersalina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, **33**, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...*, Rio de Janeiro, p. 245-253.
- PETRISOR, A.I. & DECHO, A.W. 2004. Using geographical information techniques to quantify the spatial structure of endolithic boring processes within sediment grains of marine stromatolites. *Journal of Microbiological Methods*, **56**:173-180.
- PIA, J. 1927. Thallophyta. In: HIRMER, M. (Ed.). *Handbuch der Paläobotanik*, Oldenbourg, Munich and Berlin, **1**:31-136.
- PLANAUSKY, N. & GREY, K.. 2008. Stromatolite branching in the Neoproterozoic of the centalian superbasin, Australia: an investigation into sedimentary and microbial control of stromatolite morphology. *Geobiology*, **6**:33-45.
- PRATT, B.R. & JAMES, N.P. 1982. Cryptalgal-metazoan bioherms of Early Ordovician age in the St. George Group, western Newfoundland: *Sedimentology*, **29**:543-569.
- PRESCOTT, G. W. 1975. *Algae of the western great lakes area*. W. M. C. Brown Company Publishers, Dubuque, 977 p.
- PRIMO, P.B.S. & BIZERRIL, C.R.S.F. 2002. *Lagoa de Araruama. Perfil ambiental do maior ecossistema lagunar hipersalino do mundo*. SEMADS, Rio de Janeiro, p.33-35.
- RATCLIFFE, K.T. 1988. Oncoids as environmental indicators in the much wenlock limestone formation of the English Midlands. *Journal of the Geological Society*, **145**(1):117-124.

- READING, H.G. 1986. Fácies. In: READING, H.G. (ed.). *Sedimentary environments and fácies*. Blackwell Scientific Publications, 2.ed. Oxford, p.4-19.
- REID, R.P.; VISSCHER, P.T.; DECHO, A.W.; STOLZ, J. F.; BEBOUTK, B.M.; DUPRAZ, C.; MACINTYRE, I.G.; PAERL, H.W.; PINCKNEY, J.L.; BEBOUTK-PRUFERT, L.; STEPE, T.F. & DESMARAISK, D.J. 2000. The role microbes in accretion, lamination and early lithification of modern marine stromatolites. *Nature*, **406**:989-992.
- REITNER, J.; GAUTRET, P.; MARIN, F. & NEUWEILER, F. 1995. Automicrites in modern marine microbialite. Formation model via organic matrices (Lizard Island, Great Barrier Reef, Australia). *Bulletin Institute Oceanographique Monaco*, **14**:237-264.
- RIDING, R. 2006. Microbial carbonate abundance compared with fluctuations in metazoan diversity over geological time. *Sedimentary Geology*, **185**:229-238.
- RIDING, R. 2000. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms. *Sedimentology*, **47**(1):179-214.
- RIDING, R. 1999. The term stromatolite: towards an essential definition. *Lethaia*, **32**:321-330.
- RIDING, R. 1991. Classification of microbial carbonates. In: Riding, R. (ed.). *Calcareous algae and stromatolites*. Springer-Verlag, New York, p.21-51.
- RIOLAGOS 2004. <[http\www.riolagos.com.br](http://www.riolagos.com.br)>. Acesso em fevereiro de 2007.

- ROLLINSON, H. 1995. *Using Geochemical Data: evolution, presentation, interpretation*. Singapore: Longman Group Limited, 352 p.
- SABATER, S.; GUARCH, H.; ROMANÍ, A. & MUNÓZ, I. 2000. Stromatolitic communities in Mediterranean streams adaptations to a changing environment. *Biodiversity and Conservation*, **9**:379-392.
- SANDER, B., 1936. Beiträge zur Kenntnis der Anlagerungsgefüge. (Rhythmische Kalke und Dolomite aus der Trias). *Mineral Petrography Mitteleuropa*, **48**:27-139,141-209.
- SANTELLI, R. C. L. 1988. Estudos de isótopos estáveis em sedimentos carbonáticos da lagoa Vermelha – RJ. (Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Química, Pontifícia Universidade Católica), 95p.
- SANT'ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P.; AGUJARO, L.F.; CARVALHO, M.C.; CARVALHO, L.R. & SOUZA, R.C.R. 2006. *Identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras*. Ed. Interciência, Rio de Janeiro, 58p.
- SANT'ANNA, C. L.; AZEVEDO, M.T.P.; SENNA, P.A.C.; KOMÁREK, J. & KOMÁRKOVÁ, J. 2004. Planktic cyanobacteria from São Paulo State, Brazil: Chroococcales. *Revista Brasileira de Botânica*, **27**(2):213-227.
- SANT'ANNA, C. L.; SILVA, S. M. F. & BRANCO, L. H. Z. 1991. Cyanophyceae da Gruta – Que – Chora, Município de Ubatuba, Estado de São Paulo, Brasil. *Hoehnea*, **18**(2):75-97.

- SANT'ANNA, C. L. & SIMONETTI, C. 1992. Cianofíceas marinhas bentônicas das praias de Peruíbe e dos Sonhos, Município de Itanhaém, SP, II: espécies epilíticas e epizóicas. *Revista Brasileira de Biologia*, **52**(3):515-523.
- SANTOS, R. C. 2004. *Ficoflora (Cyanophyta) da lagoa Pitanguinha Estado do Rio de Janeiro – Brasil*. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 80p.
- SCHIEBER, J. 2005. Granular microbial habitats built from iron sulfides: alternative microbial lifestyles? *Lunar and Planetary Science*, **36**:1972.
- SCHIEBER, J. 1998. Possible indicators of microbial mat deposits in shales and sandstones: examples from the Mid-Proterozoic Belt Supergroup, Montana, USA. *Sedimentary Geology*, **120**:105-124.
- SCHIMITT, R. S. 2001. A orogenia Búzios – Um evento tectono-metamórfico Cambro-Ordoviciano caracterizado no domínio tectônico de Cabo Frio. Faixa Ribeira, sudeste do Brasil. (Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFRJ, Tese de Doutorado), 273 p.
- SCHOPF, J. W. 1996. *Cyanobacteria: pioneers of the early Earth*. Beihefte zur Nova Hedwigia. Weinheim, **112**:13-32.
- SCHUBERT, J.K. & BOTTJER, D.J. 1992. Early Triassic stromatolite as post-mass extinction disaster form. *Geology*, **20**:883-886.

- SELLEY, R.C. 1970. *Ancient sedimentary environments*. Chapman & Hall, London, 237p.
- SEMIKHATOV, M. A., GEBELEIN, C. D., CLOUD, P., AWRAMIK, S. M. & BENMORE, W. C. 1979. Stromatolite morphogenesis – progress and problems. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **16**:992-1015.
- SEMIKHATOV, M.A. & RAABEN, M.E. 2000. Proterozoic stromatolite taxonomy and biostratigraphy. In: RIDING, R.E. & AWARAMIK, S.M. *Microbial sediments*. Springer-Verlag, Herdelberg, p.295-306.
- SENN, P. A. C. 1992. Estudo das Nostocophyceae (Cyanophyceae) do Distrito Federal, 2:Lagoas Joaquim Medeiros e dos Carás. *Revista Brasileira de Biologia*, **52**(3):461-479.
- SHAPIRO, R.S. 2000. A comment on the systematic confusion of Thrombolites. *Palaios*, **15**(2):166-169.
- SHAPIRO, R.S. & AWRAMIK, S.M. 2006. Favosamaceria cooperi new group and form: a widely dispersed, time-restricted thrombolite. *Journal Paleontology*, **80**(3):411-422.
- SHEEHAN, P.M. & HARRIS, M.T. 2004. Microbialite resurgence after the Late Ordovician extinction. *Nature*, **430**:75-78.
- SHEN, J. W. & WEBB, G.E. 2004. Famennian (Upper Devonian) stromatolite reefs at Shatang, Guilin, Guangxi, South China. *Sedimentary Geology*, **170**:63-84.

SILVA e SILVA, L.H. 2002. *Contribuição ao conhecimento da composição microbiana e química das estruturas estromatolíticas da Lagoa Salgada, Quaternário do Rio de Janeiro, Brasil*. Tese (Doutorado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 176p.

SILVA e SILVA L.H; BORGHI, L.; IESPA, A.A.C & DAMAZIO, C.M. 2008. Análise de esteiras microbianas e cianobactérias da Lagoa Amarga, Parque Nacional de Torres del Paine, Chile. *GAEA*, 4(1):32-37.

SILVA e SILVA, L.H.; SRIVASTAVA, N.K.; IESPA, A.A.C & DAMAZIO, C.M. 2007. Evidência de oncoídes recentes na Lagoa Salgada, norte do estado do Rio de Janeiro, sudeste brasileiro. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, 6(1):201-206.

SILVA e SILVA, L.H; IESPA, A.A.C & DAMAZIO, C.M. 2006a. Trombólitos e cianobactérias da Lagoa Pernambuco, Holoceno do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 6(2):243-250.

SILVA e SILVA, L.H.; IESPA, A.A.C. & DAMAZIO, C. M. 2006b. Caracterização e composição cianobactériana das esteiras microbianas lisas da Lagoa de Araruama, Rio de Janeiro, Brasil. *GAEA*, 2(1):18-23.

SILVA e SILVA, L. H., DAMAZIO, C.M. & IESPA, A.A.C. 2005. Composição cianobacteriana em trombólitos da lagoa Pitanguinha (Holoceno), Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *GAEA – UNISINOS*, 1(2):75-81.

SILVA e SILVA, L.H.; SENRA, M.C.E.; FARUOLO, T.C.L.M.; CARVALHAL, S.B.V.; ALVES, S.A.P.M.N.; DAMAZIO, C.M.; SHIMIZU, V.T.A.; SANTOS, R.C. & IESPA, A.A.C. 2004. Composição paleobiológica e tipos morfológicos das construções estromatolíticas da Lagoa Vermelha, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7(2):193-198.

SILVA e SILVA, L.H., SENRA, M.C.E., FARUOLO, T.C.L.M., CARVALHAL, S.B.V., ALVES, S.A.P.M.N., DAMAZIO, C.M., SHIMIZU, V.T.A. & IESPA, A.A.C. 2003. Distinção entre as esteiras microbianas da lagoa Pitanguinha, Quaternário do Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, XVIII, Brasília, 2003, *Anais*, Brasília, p.271.

SILVA E SILVA, L. H., SENRA, M. C. E. & SRIVASTAVA, N. K. 1999. Composição ficológica dos testemunhos dos estromatólitos estratiformes e esteira algal na lagoa Salgada, Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BARASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, VII, Porto Seguro, 1999. *Anais*, Bahia, CD Rom.

SOARES, A. C. 2000. *Um Estudo Experimental para Definição do Colapso de Poros em Rochas Carbonáticas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 185p.

SRIVASTAVA, N.K. 2004. Estromatólito. In: CARVALHO, I.S. (ed.). *Paleontologia*. Interciência, Rio de Janeiro, p.171-195.



- SRIVASTAVA, N.K. & ALMEIDA, L.B. 2000. Lagoa Salgada (Rio de Janeiro): recent stromatolites. *In: International Geological Congress, XXXI*, Rio de Janeiro, 2000. *Resumos*, Rio de Janeiro, p.12-14.
- STOLZ, J. F. 2000. Structure of microbial mats and biofilms. *In: RIDING, R.E. & AWRAMIK, S. M. Microbial Sediments*. Springer-Verlag, Heidelberg, p.1-8.
- SUGUIO, K. 2001. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais*. Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, São Paulo, 366p.
- THAJUDDIN, N. & SUBRAMANIAN, G. 2005. Cyanobacterial biodiversity and potential applications in biotechnology. *Currents Science*, **89**(1):47-57.
- TUCKER, M. E. & WRIGHT, P. 2000. *Carbonate Sedimentology and Diagenesis*. Blackwells, Oxford, 482p.
- TURCQ, P. F. M.; BARBOSA, J.A. & PEREIRA, J. R. 1999a. Chemical, physical and biological characterization of surficial sediments in the Araruama Lagoon. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY IN TROPICAL COUNTRIES, III*, Nova Friburgo, 1999. *Resumo*, Rio de Janeiro, p.4.
- TURCQ, B.; MARTIN, L.; FLEXOR, M.; SUGUIO, K.; PIERRE, C. & ORTEGA, L.T. 1999b. Origin and evolution of the quaternary coastal Plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. *In: Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brazil*. Rio de Janeiro, UFF, p.25-46

- TURNER, E.C.; JAMES, N.P. & NARBONNE, G.M. 2000. Taphonomic control on microstructure in early Neoproterozoic reefal stromatolites and thrombolites. *Palaios*, **15**(2):87-111.
- TWENHOFEL, W. H. 1919. Pre-Cambrian and Carboniferous algal deposits. *American Journal of Science*, **48**:399-352.
- URMENETA, J. & NAVARRETE, A. 2000. Mineralogical composition and biomass studies of the microbial mats sediments from the Ebro Delta, Spain. *International Microbiology*, **3**:97-101.
- VISCOGNI, A.; GUIDO, A.; MASTANDREA, A. & RUSSO, F. 2008. Microbialite-vermetid community (Salento Peninsula, southern Italy): a late miocene example of automicrite deposition in confined spaces. In: REITNER, J.; QUÉRIC, N.V. & REICH, M. (eds.). *Geobiology of stromatolites*. International Kalkowsky Symposium, Universitätsverlag Gottingen, Gottingen, p.127-129.
- VISSCHER, P.T.; REID, R.P.; BEBOUT, B.M.; HOEFT, S.E.; MACINTYRE, I.G. & THOMPSON JR, J.A. 1998. Formation of lithified micritic laminae in modern marine stromatolites (Bahamas): The role of sulfur cycling. *American Mineralogist*, **83**:1482-1493.
- WALCOTT, C. D. 1914. Pre-Cambrian Algonkian algal flora. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, **64**(2):77-156.
- WEBER, W. 2001. *Ambiente das águas no Estado do Rio de Janeiro*. SEMADS, Rio de Janeiro, 230p.

- WEED, W. H., 1889. On the formation of siliceous sinter by the vegetation of thermal springs. *American Journal of Science*, **37**:351-359.
- WEISSERT, H., JOACHIMSKI, M. & SARNTHEIN, M. 2008. Chemostratigraphy. *Newsletters on Stratigraphy*, **42**:145-179.
- WERNER, V. R. & ROSA, Z. M. 1992. Cyanophyceae da Estação Ecológica do Taim, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*, **52**(3):481-502.
- WILSON, J.L. 1975. *Carbonate facies in geologic time*. Springer-Verlag, Berlin, 471p.
- YEO, G.; PERCIVAL, J.B.; JEFFERSON, C.W.; BERNIER, S. & HUNT, P. 2002. Clay oncoids and crypto-microbial laminites from the late Paleoproterozoic Maniton falls formation, Athabasca basin, Saskatchewan. *Saskatchewan Geological Survey*, **2**:1-9.
- YOUNG, R. B. 1935. A comparison of certain stromatolitic rocks in the dolomite series of South Africa with modern algal sediments in the Bahamas. *Transactions Geological Society of South Africa*, **37**:153-162.
- ZANAGNI J.; KOSIR A. & MUTTI, M. 2009. The first microbialite-coral mounds in the Cenozoic (Uppermost Paleocene) from the Northern Tethys (Slovenia): Environmentally triggered phase shifts preceding the PETM? *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, **274**:1-17
- ZARZA, A.M.A. 2010. Petrologia sedimentaria. Nota de teoria. Rocas carbonáticas: Carbonatos marinos y continentales. *Reduca (Geologia) Serie Petrologia Sedimentaria*, **2**(3):89-101.

## DESCRIÇÃO DAS CIANOBACTÉRIAS ENCONTRADAS

**Divisão** CYANOPHYTA Sachs 1874.

**Classe** Cyanophyceae Sachs 1874.

**Ordem** Chroococcales Wettstein 1924.

**Família** Synechococcaceae Komárek *et* Anagnostids 1995.

**Subfamília** Aphanothecoidea Komárek *et* Anagnostids 1995.

**Gênero** *Aphanothece* Nägeli 1849.

*Aphanothece clathrata* West & West, 1906.

*Natura Klasse Abstracta* 163(3):169-139,1906.

Basiônimo: *Aphanothece gracilis* Schiller, 1954.

Características: Colônia de formato irregular rodeada por bainha homogênea e incolor. Células dispersas de maneira aleatória, com coloração verde oliva, conteúdo homogêneo e formato elipsóide, até 2 vezes mais compridas que largas.

Medidas: Diâmetro celular: (0,8) 0,9 (1,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular: (2,5) 3,3 (4,1)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os exemplares analisados apresentaram características que coincidem com as descritas Komárek *et* Anagnostidis (1999) porém somente o limite métrico inferior do diâmetro celular encontrado foi menor do que o proposto por estes autores, mas estando dentro dos padrões estabelecidos por Baeta Neves (1991) para ambiente semelhante.

***Aphanothece halophytica* Frémy 1933.**

*Mémoires de la Société Nationale des Sciences Naturelles et Mathématiques*, 54(41): 1-235 1933.

Características: Colônias de formato arredondado, delimitada por mucilagem hialina. Célula de formato alongado dispersa aleatoriamente, com conteúdo azul esverdeado homogêneo.

Medidas: Diâmetro celular (4,1) 4,6 (5,1)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (12,3) 13,2 (14,1)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os indivíduos apresentaram características que coincidem com as citadas por Baeta Neves (1991).

***Aphanothece marina* (Ercegović) Komárek et Anagnostidis 1995.**

*Preslia Praha*, 67: 15 - 23, 1995.

Basiônimo: *Synechococcus marinus*, Ercegović 1932.

Características: Colônias de formato elipsóide composta por uma ou duas células raramente mais, envolta por envelope mucilaginoso, fino e pouco corado. Células curtas mais compridas do que largas com conteúdo azul esverdeado homogêneo.

Medidas: Diâmetro celular (2,0) 3,05 (4,1)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (6,1) 6,65 (7,2)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os exemplares analisados apresentaram o limite métrico inferior para o comprimento celular menor que o proposto por Komárek et Anagnostidis, (1999), porém todas as outras características coincidem com as propostas por estes autores.

***Aphanothece pallida* (Kützing) Rabenhorst 1863.**

*Die Algen Sachsens 1863.*

Características: Colônias amorfas, com as células densamente arranjadas ao centro de uma espessa bainha difluente, hialina. Células variando de ovais a cilíndricas com coloração azul esverdeada e conteúdo homogêneo.

Medidas: Diâmetro celular (4,4) 5,2 (6,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (7,2) 8,2 (9,2)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: As colônias encontradas apresentaram as mesmas características relatadas por Komárek *et* Anagnostidis (1999).

***Aphanothece salina* Elenkin et Danilov 1915.**

*Süßwasserflora von mitteleuropa Band 19/1: Cyanoprocaryota 1. Chroococcales. 545 p, 1999.*

Características: Colônia geralmente alongada composta de células dispersas aleatoriamente ou formando pares em uma matriz mucilaginosa hialina e homogênea. Células com formato cilíndrico a obovóide com coloração azul esverdeada freqüentemente granulada.

Medidas: Diâmetro celular (3,2) 3,65 (4,1)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (10,2) 12,2 (14,2)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os exemplares apresentaram características que coincidem com as propostas por Komárek *et* Anagnostidis, (1999) para esta espécie.

***Aphanothece saxicola* Nägeli 1849.**

*Gattungen Einzelliger Algen Physiologisch und Systematische Bearbeitet. p.59, 1849.*

Basinômio: *Aphanothece subachroa* Hansgirg 1849.

Características: Colônias mais ou menos arredondadas ou oblongas, com células densamente agrupadas, limitadas por uma mucilagem hialina homogênea. Células mais longas do que largas, com extremidades arredondadas, com conteúdo ligeiramente granuloso.

Medidas: Diâmetro celular (1,0) 1,25 (1,5)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (3,0) 3,5 (4,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: As características observadas nos exemplares analisados coincidem com as descritas por Komárek *et* Anagnostidis (1999) para esta espécie.

**Gênero**: *Synechococcus* (Nägeli) Nägeli 1849.

***Synechococcus elongatus* Nägeli 1849.**

*Gattungen einzelliger Algen Physiologisch und systematische bearbeitet, p 56, 1849.*

Basinômio: *Synechococcus parvulus* Nägeli 1849; *Synechococcus racemosus* Wolle 1881; *Synechococcus geitleri* De Toni 1936.

Características: Células solitárias ou em grupos de até 4 células. Células alongadas ou ligeiramente curvadas, com coloração azul esverdeada homogênea, às vezes com grânulos nos pólos, ocasionalmente com mucilagem muito fina ao redor das células.

Medidas: Diâmetro celular (1,5) 2,25 (3,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (2,0) 4,1 (6,2)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Komárek *et* Anagnostidis (1999) relatam a presença ocasional de mucilagem ao redor das células o que não foi observado nos exemplares analisados, estando todas as outras características em conformidade com as descritas para a espécie.

***Synechococcus salinarum* Komárek 1956.**

*Acta University of North Carolina at Wilmington – Biológica 2 (1): 91-123, 1956.*

Características: Células solitárias em formato cilíndrico mais longas do que largas com coloração azul esverdeada e conteúdo homogêneo.

Medidas: Diâmetro celular (2,0) 2,75 (3,5)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (6,0) 7,0 (8,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Komárek *et* Anagnostidis (1999) relatam sobre o formato arqueado que as células podem apresentar, portanto não foi observado nos exemplares analisados, estando todas as outras características em conformidade com as descritas para a espécie.

**Gênero**: *Johannesbaptistia* De Toni, 1934.

***Johannesbaptistia pellucida* (Dickie) Taylor et Drouet 1938.**

*Bulletin Torrey Botany Club, 65: 285, 1938.*

Basinômio: *Homospora pellucida* Dickie 1874.

Características: Colônia pseudofilamentosa uniseriada cilíndrica. Tricoma envolvido por uma membrana hialina e fechado. Células discóides ou lenticulares, mais longas do que



largas. Célula apical arredondada (convexa) e conteúdo celular azul esverdeado homogêneo.

Medidas: Diâmetro celular (5,2) 5,8 (6,4)  $\mu\text{m}$ ;

Diâmetro do pseudofilamento (8,3) 9,3 (10,3)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (1,8) 2,95 (4,1)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os exemplares observados estavam em conformidade com as descrições de Baeta Neves (1983; 1990) para a espécie. Komárek *et* Anagnostidis relatam que podem ser encontrados envelopes mucilaginosos individuais, mas esta característica não foi observada nos exemplares da Lagoa Pitanguinha.

**Gênero:** *Gomphosphaeria* Kützing, 1836

***Gomphosphaeria aponina* Kützing, 1836.**

*Algae aquae dulcis* 16:151,1836.

Características: Colônias arredondadas, esféricas ou quase, constituídas de células ovais, piriformes ou cordiformes azul esverdeadas, reunidas em uma bainha comum formando colônias, dispostas geralmente aos pares, estando a maioria na periferia de mucilagem incolor e hialina; conteúdo celular com ou sem grânulos, destituído de pseudovacúolos; bainha individual às vezes visível.

Medidas: Diâmetro colonial (41,5) 52,6 (63,7)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (7,4) 10,3 (13,2)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: As características observadas nos exemplares analisados coincidem com as descritas por Komárek *et* Anagnostidis (1999) para esta espécie.

**Família** Chroococcaceae Nägeli 1849.

**Gênero:** *Chroococcus* Nägeli 1849.

***Chroococcus dispersus* (Keissler) Lemmermann 1904.**

*Arkiv für Botanik* 2 (2): 102. 1904.

Basinômio: *Chroococcus minor* (Kützing) Nägeli var. *dispersus* Keisser, 1902.

Características: Colônias constituídas de várias células esféricas ou hemisféricas, isoladas ou reunidas em grupos distantes entre si, imersas em uma mucilagem incolor e hialina. Células com conteúdo homogêneo a finamente granuloso.

Medidas: Diâmetro celular (2,0) 3,05 (4,1) µm;

Comentários: As características observadas conferem com as descritas por Anagnostidis et Komárek (1999) para a espécie.

***Chroococcus giganteus* W. West 1892.**

*Süßwasserflora von mitteleuropa Band 19/1: Cyanoprocaryota 1. Chroococcales. 545 p. 1999.*

Basinômio: *Gloeocapsa gigantea* (W. West) Hollerbach et alii, 1953.

Características: Colônias com 2 a 4 células envoltas por uma membrana hialina, às vezes lamelada. Células esféricas, ovais ou hemisféricas, com coloração verde azulada normalmente com citoplasma granuloso, envoltas por um envelope individual mucilaginoso, espesso e também lamelado.

Medidas: Diâmetro celular (51,55) 56,67 (61,8) µm;

Comentários: As características analisadas conferem com as descritas por Anagnostidis *et Komárek* (1999) para a espécie.

***Chroococcus membraninus* (Menenghini) Nägeli 1849.**

*Neue Denkschriften der Allgemeinen Schweizerischen Gesellschaft für die Gesamten  
Naturwissenschaften* 10 (7) 1849.

Características: Colônias esféricas, formadas de numerosas subcolônias envoltas por uma mucilagem. Sub-colônias com 1 a 4 células. Células esféricas com coloração verde azulada e finamente granulosa.

Medidas: Diâmetro celular (3,09) 4,63 (6,18)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os exemplares observados estavam em conformidade com as descrições de Komárek *et* Anagnostidis (1999), conflitando com a descrição de Baeta Neves (1991), no que se refere ao conteúdo celular homogêneo, corroborando também com Santos (2004) que observou indivíduos com granulações para esta mesma lagoa.

***Chroococcus microscopicus* Komárková- Legnerová *et* Cronberg 1994.**

*Archiv für Hydrobiologie Algological Studies* 72: 13-51. 1994.

Características: Colônias microscópicas de formato variando de arredondadas a ovais, rodeadas por uma bainha hialina única algumas vezes difluente.

Medidas: Diâmetro celular (0,8) 0,95 (1,1)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os exemplares observados estavam em conformidade com as descrições de Komárek *et* Anagnostidis (1999) para a espécie.

***Chroococcus minimus* (Keissler) Lemmermann 1904.**

*Arkiv für Botanik* 2 (2): 1-209, 1904.

Basinômio: *Chroococcus minutus* var. *minimus* Keissler 1901; *Chroococcus dispersus* var. *minor* G. M. Smith, 1920; *Gloeocapsa minima* (Keissler) Hollerbach in Elenkin 1938; *Microcystis chroococcoideae* var. *minor* Nygaard 1949.

Características: Colônias amorfas, com grande número de células esféricas ou subesféricas com conteúdo homogêneo e coloração azul esverdeada rodeada por uma bainha hialina, incolor e não lamelada.

Medidas: Diâmetro celular (1,4) 1,7 (2,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os indivíduos encontrados não apresentavam bainha hialina individual, característica essa considerada facultativa por Komárek *et* Anagnostidis (1999).

***Chroococcus minor* (Kützing) Nägeli 1849.**

*Neue Denkschriften der Allgemeinen Schweizerischen Gesellschaft für die Gesamten  
Naturwissenschaften* 10 (7) 1849.

Características: Colônias formadas por até 4 células hemisféricas ou esféricas imersas em uma mucilagem incolor, hialina e homogênea, bainha individual raramente presente. Células com coloração azul esverdeada e sem granulação.

Medidas: Diâmetro celular (3,0) 3,6 (4,2)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os indivíduos encontrados apresentaram características que conferem com as descritas por Komárek *et* Anagnostidis (1999), porém não foram observados indivíduos solitários conforme descrito por Baeta Neves (1991) para Cabo Frio.

***Chroococcus minutus* (Kützing) Nägeli 1849.**

*Neue Denkschriften der Allgemeinen Schweizerischen Gesellschaft für die Gesamten  
Naturwissenschaften* 10 (7) 1849.

Basinômio: *Protococcus minutus* Kützing 1843; *Chroococcus virescens* Hantzsch in Rabenhorst 1865; *Gloeocapsa minuta* (Kützing) Hollerbach in Elenkin 1938.

Características: Colônias sem forma definida com até 4 células esféricas ou subesféricas, envoltas por mucilagem extensa, homogênea ou levemente lamelada e sem cor. Células com conteúdo granuloso e coloração verde amarelada.

Medidas: Diâmetro celular (4,1) 5,45 (6,8) µm;

Comentários: Os indivíduos encontrados apresentaram características que conferem com as descritas por Komárek *et* Anagnostidis (1999) para a espécie.

***Chroococcus quaternarius* Zalessky 1926.**

*Revue Générale Botanique* 38: 31-42, 1926.

Características: Colônia composta por subcolônias, mucilagem colonial hialina, distinta e firme. Sub colônias com até 8 células com mucilagem homogênea e lamelada. Células geralmente hemisféricas podendo se apresentar no forma esférica, com coloração verde azulada.

Medidas: Diâmetro celular (10,31) 15,45 (20,6) µm;

Comentários: Os exemplares observados apresentam características que conferem com as apresentadas por Komárek *et* Anagnostidis (1999) para a espécie.

***Chroococcus turgidus* (Kützing) Nägeli 1849.**

*Neue Denkschriften der Allgemeinen Schweizerischen Gesellschaft für die Gesamten  
Naturwissenschaften 10 (7) 1849.*

Basinômio: *Chroococcus dimidiatus* (Kützing) Nägeli 1849 = *Anacystis dimidiata* (Kützing) Drouet et Daily 1952; *Gloeocapsa turgida* (Kützing) Hollerbach in Elenkin 1938; *Chroococcus turgidus* var. *maximus* Nygaard 1926; *Protococcus turgidus* Kützing 1846.

Características: Colônias esféricas rodeadas por uma bainha hialina e as vezes lamelosa. Células geralmente apresentando formato esférico ou hemisférico com citoplasma granuloso e coloração azul esverdeada.

Medidas: Diâmetro celular (16,49) 20,62 (24,74) µm;

Comentários: Os exemplares observados apresentaram características que conferem com a descrição de Komárek et Anagnostidis (1999) para a espécie.

**Gênero**: *Cyanosarcina* Kováčik 1988.

***Cyanosarcina thalassia* Anagnostidis et Pantazidou 1991.**

*Archiv für Hydrobiologie. Algological Studies 64: 141- 157, 1991.*

Características: Colônias amorfas, contendo 2-32 células arranjadas de forma mais ou menos cúbica, envoltas por um envelope mucilaginoso, difluente e pouco corado. Células mais ou menos esféricas ou hemisféricas após a divisão com coloração verde azulada e citoplasma finamente granuloso.

Medidas: Diâmetro celular (2,0) 2,55 (3,1) µm;

Comentários: As características observadas nos indivíduos encontrados conferem com a descrição de Komárek *et* Anagnostidis (1999).

**Gênero**: *Pseudocapsa* Ercegović 1925.

***Pseudocapsa dubia* Ercegović 1925.**

*Acta Botany of University Zagreb 1: 64-114. 1925.*

Características: Colônias esféricas ou irregularmente esféricas, composta por várias células formando de 2 a 4 sub-colônias, rodeadas por uma bainha fina, firme, transparente. Células esféricas ou hemisféricas, delimitadas sem envelopes individuais com coloração azul esverdeada.

Medidas: Diâmetro celular (2,1) 4,2 (6,3) µm;

Comentários: Os exemplares observados estavam em conformidade com a descrição de Komárek *et* Anagnostidis (1999).

***Pseudocapsa sphaerica* (Proškina-Lavrenko) Kováčik 1988.**

*Archiv für Hydrobiologie Algological Stududies 50-53: 149- 190. 1988.*

Basinômio: *Myxosarcina sphaerica* Proškina-Lavrenko 1951.

Características: Colônias compostas de várias sub-colônias, raramente solitárias, esféricas de coloração verde azulada, com ou sem envelope distinto e delimitado e pouco corado. Células arranjadas de forma mais ou menos radial esféricas, hemisféricas ou esférico segmentar.

Medidas: Diâmetro celular (4,1) 6,15 (8,2) µm;

Comentários: As características observadas conferem com a descrição de Komárek *et* Anagnostidis (1999) para esta espécie.

**Família:** Hyellaceae Borzi 1914.

**Subfamília:** Hyelloideae Komárek *et* Anagnostidis 1995.

**Gênero:** *Pleurocapsa* Thuret 1885.

***Pleurocapsa fulginosa* Hauck 1885.**

*Rabenhorst's Krypt Fl. 2.: 487-519. 1885.*

Características: Colônias irregulares, finas ou crostosas, formando agregados de células. Células irregulares, com formato poligonal arredondado, raramente solitárias ou formando agregados de 2 a 4 células rodeadas por um envelope mucilaginoso próprio, ligeiramente lamelado e pouco corado. Células com conteúdo homogêneo e coloração verde oliva.

Medidas: Diâmetro celular (4,1) 7,2 (10,3) µm;

Comentários: Os exemplares observados conferem com a descrição de Komárek *et* Anagnostidis (1999) para a espécie.

**Família:** Entophysalidaceae Geitler 1925.

**Subfamília:** Entophysalidoideae Komárek *et* Anagnostids

1986.

**Gênero:** *Entophysalis* Kützing 1843.



***Entophysalis granulosa* Kützing 1843.**

*Süßwasserflora von mitteleuropa Band 19/1: Cyanoprocaryota 1. Chroococcales. 545 p.*  
1999.

Características: Colônia gelatinosa ou crostosa irregular com algumas células distintas. Células esféricas, sub-esféricas, arredondadas ou irregulares com coloração verde azulado pálido envoltas por envelopes mucilaginosos individuais.

Medidas: Diâmetro celular (2,0) 3,05 (4,1)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: As características citadas conferem com as citadas por Komárek *et* Anagnostidis (1999) para a espécie.

**Classe:** Hormogonae Golubic 1976.

**Ordem:** Oscillatoriales Elenkin 1934.

**Família:** Pseudanabaenaceae Anagnostidis *et* Komárek 1988.

**Subfamília:** Leptolyngbyoideae Anagnostidis *et* Komárek  
1988.

**Gênero:** *Leptolyngbya* Anagnostidis *et* Komárek 1988.

***Leptolyngbya tenuis* (Gomont) Anagnostidis *et* Komárek 1988.**

*Archiv für Hydrobiologie Algological Studies, Supplement 80(30): 327-472, 1988.*

Basinômio: *Phormidium tenuis* Gomont 1892.

Características: Tricoma constrito nos septos transversais, células mais longas do que largas, com conteúdo granuloso e coloração verde azulada. Célula apical cônica.

Medidas: Diâmetro celular (2,0) 2,5 (3,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (3,0) 4,0 (5,0)  $\mu\text{m}$ .;

Comentários: Azevedo (1991) afirma que esta espécie apresenta célula apical arredondada, no entanto Baeta Neves (1990) relata que este formato também pode se apresentar formato cônico, como os observados neste estudo, e os limites métricos encontrados se apresentaram maiores que os encontrados por estes autores.

**Família:** Schizothricaceae Elenkin 1934.

**Subfamília:** Schizothricoideae Forti 1907.

**Gênero:** *Schizothrix* Kützing *ex* Gomont 1892.

***Schizothrix arenaria* (Berkeley) Gomont 1892.**

*Annales des Sciences Naturelles Botanical Serie 7, 15: 263-358; 16: 91-264, 1892.*

Características: Filamentos simples ou formando massa delgada, ramificados na extremidade com bainha incolor, firme e homogênea, afilada no ápice, de 1 a 7 tricomas na bainha. Células mais longas do que largas e conteúdo celular azul esverdeado homogêneo.

Medidas: Diâmetro celular (1,5) 2,25 (3,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (2,0) 3,0 (4,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: As características apresentadas pelos exemplares analisados estão em conformidade com as descritas por Azevedo (1991).

***Schizothrix friesii* Gomont 1892.**

*Annales des Sciences Naturelle Botanical Serie 7, 15-16, 1892.*

Características: Filamento composto de poucos tricomas com bainha hialina fechada com extremidades acuminada contendo um simples tricoma. Tricomas ligeiramente constrito ao nível dos septos transversais com células mais longas do que largas com conteúdo azul esverdeado homogêneo.

Medidas: Diâmetro de filamento (10) 14 (18)

Diâmetro celular (3,5) 4,25 (5,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (6,5) 7,25 (8,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Prescott (1975) e Azevedo (1991) relatam que os filamentos desta espécie podem aparecer com ápices dicotômicos, porém os indivíduos analisados não apresentaram esta característica.

**Família:** Phormidiaceae Anagnostidis *et* Komárek 1988.

**Subfamília:** Phormidioideae Anagnostidis *et* Komárek 1988.

**Gênero:** *Phormidium* Kützing *ex* Gomont 1892.

***Phormidium acutum* ( Briehl *et* Biswas.) Anagnostidis *et* Komárek 1988.**

*Archiv für Hydrobiologie Algological Studies, Supplement 80(30): 327-472, 1988.*

Basinômio: *Oscillatoria acuta* Bruhl & Biwas 1922.

Características: Tricoma reto ou flexuoso atenuado no ápice de coloração azul esverdeado, não constricto ao nível dos septos transversais. Células de quadráticas a mais largas do que longas com conteúdo homogêneo.

Medidas: Diâmetro celular (4,0) 4,55 (5,1)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (3,2) 3,55 (3,91)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os exemplares analisados apresentaram as mesmas características descritas por Azevedo (1991).

***Phormidium acuminatum* (Gomont), Anagnostidis *et* Komárek 1988.**

*Archiv für Hydrobiologie Algological Studies Supplement 80(30): 327-472, 1988.*

Basinômio: *Oscillatoria acuta* Bruhl & Biwas 1922.

Características: Tricoma azul esverdeado não constricto ao nível dos septos transversais. Célula apical pontuda homogênea.

Medidas: Diâmetro celular (3,0) 4,05 (5,1)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (5,0) 5,6 (6,2)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: os espécimes analisados apresentaram características e limites métricos de acordo com os descritos para a espécie por (Baeta Neves, 1983).

***Phormidium okenii* (Gomont) Anagnostidis et Komárek 1988.**

*Archiv für Hydrobiologie Algological Studies, Supplement 80 (30): 327-472, 1988.*

Basinômio: *Oscillatoria okenii* Agarth ex Gomont 1892.

Características: Tricomas flexuosos constrictos nos septos transversais, atenuados no ápice. Células mais largas do que longas e conteúdo finamente granuloso.

Medidas: Diâmetro celular (5,8) 6,55 (7,3)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (3,8) 3,9 (4,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os indivíduos analisados estavam em conformidade com as descrições de Baeta Neves (1983).

***Phormidium terebriforme f. amphigranulata* (Agard ex Gomont) Anagnostidis et Komárek 1988.**

*Archiv für Hydrobiologie Algological Studies, Supplement 80 (30): 327-472, 1988.*

Basinômio: *Oscillatoria terebriformis f. amphigranulata* Agarth ex Gomont 1892.

Características: Tricoma flexuoso, com célula apical quadrática e as intermediárias tendendo a mais longa do que larga, com conteúdo finamente granuloso com coloração verde oliva.

Medidas: Diâmetro celular (4,8) 5,2 (5,6)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (1,8) 2,9 (4,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os indivíduos analisados estavam de acordo com as descrições de Baeta Neves (1990) para a espécie.

***Phormidium willei* (Gardner) Anagnostidis et Komárek 1988.**

*Archiv für Hydrobiologie Algological Studies, Supplement 80 (30): 327-472, 1988.*

Basinômio: *Oscillatoria willei* Gardner, 1927.

Características: Tricoma geralmente reto, sem constrição nos septos transversais. Célula apical arredondada e intermediárias quase quadráticas tendendo a mais longa do que largas. Conteúdo celular azul esverdeado e homogêneo.

Medidas: Diâmetro celular (3,7) 3,85 (4,0)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (3,1) 4,4 (5,7)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os espécimes analisados estavam de acordo com as descrições de Senna, (1992) para a espécie.

**Subfamília** Microcoleoideae Hansgirg 1892.

**Gênero** *Microcoleus* Desmazières ex Gomont 1892.

***Microcoleus chthonoplastes* Thuret ex Gomont 1875.**

*Annales des Sciences Naturelles*, 6, Série Botanical 1, S. 378, 1875.

Características: Tricoma composto de vários tricomas aberto nas extremidades, reunidos em uma bainha hialina e espessa e lamelosa. Tricoma levemente constricto nos septos transversais. Células mais longas do que largas, com conteúdo granuloso e coloração azul esverdeada.

Medidas: Diâmetro celular (3,8) 4,75 (5,7)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (5,7) 6,55 (7,4)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: As características observadas conferem com as descritas por Baeta Neves (1990), porém corroborando com Carvalhal (2003) alguns exemplares observados apresentaram-se granulados.

***Microcoleus vaginatus* (Vaucher) Gomont 1890.**

*Bulletin de la Societé Botanique de France*. 32: 353, pl. 131, fig. 2. 1890.

Características: Tricoma composto de aproximadamente 6 filamentos torcidos e envoltos por uma bainha hialina, irregularmente ondulada e enrugada e aberta nas extremidades. Filamentos retos não constricto nos septos transversais. Células mais longas do que largas com conteúdo celular granuloso e coloração verde oliva.

Medidas: Diâmetro celular (3,8) 4,55 (5,3)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (2,5) 4,95 (7,4)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os espécimes analisados estavam em conformidade com as descrições de Azevedo (1991), para a espécie.

***Microcoleus tenerrimus* Gomont, 1892.**

*Annales des Sciences Naturelles Botanical, Serie 7,15:263-368,16:91-264,1892.*

(Prancha 4 Apêndice D)

Características: Filamento composto de poucos tricomas (até 5) envolto por uma bainha incolor. Tricomas não constricto nos septos transversais, atenuando-se levemente para o ápice. Células intermediárias até 2 vezes mais compridas que largas. Conteúdo celular homogêneo e coloração azul-esverdeado brilhante.

Medidas: Diâmetro do filamento: (9,3) 15,9 (22,5)  $\mu\text{m}$ ;

Diâmetro do tricoma: (1,3) 2,2 (3,1)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular: (4,1) 4,6 (5,1)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os espécimes analisados estavam em conformidade com as descrições de Azevedo (1991), para a espécie.

**Família:** Oscillatoriaceae Gomont 1892.

**Subfamília:** Oscillatorioideae Gomont 1892.

**Gênero:** *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont 1892.

***Oscillatoria subbrevis* Schmidle, 1901.**

*Botanische Jahrbücher für Systematik. Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie*  
30, (2):243, Taf.4, Fig.7, 1901.

Características: Tricomas retos, solitários, ligeiramente curvos no ápice, não constrictos nos septos transversais. Células 2,6- 3,0 vezes mais largas que longas; conteúdo celular homogêneo azul-esverdeado e finamente granuloso; septos não granulados; célula apical arredondada, sem espessamento polar, sem caliptra.

Medidas: Diâmetro celular (4,6) 5,7 (6,8)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (1,8) 2,3 (2,8)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Os exemplares observados apresentaram todas as características descritas por Senna (1988), para a espécie.

**Gênero:** *Lyngbya* G. Agardh ex Gomont 1892.

***Lyngbya aestuarii* Liebman ex Gomont 1892.**

*Annales des Sciences Naturelles, Série Botanical* 7, 16: 127. 1892.

Prancha 6, Figura 63.

Características: Tricomas não constrictos e ápice ligeiramente atenuado, rodeado por uma bainha mucilaginosa e levemente amarelada. Células mais longas do que largas com conteúdo celular granuloso.

Medidas: Diâmetro do tricoma (11,06) 13,93 (16,8)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (2,1) 2,65 (3,2)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: Alguns dos indivíduos observados apresentaram bainha dupla e às vezes amarelada conforme citado por Baeta Neves (1992) para Cabo Frio.



**Ordem:** Nostocales Bourrelly 1970.

**Família:** Nostocaceae Kützing 1843.

**Gênero:** *Kyrtuthrix* Ercegović 1929.

***Kyrtuthrix maculans* (Gomont) Umezaki, 1958.**

*Memoirs of the College of Agriculture, Kyoto 64, 1958.*

Características: Massas globosas compostas por filamentos envoltos por uma bainha hialina constrictos nos septos transversais, em forma de V, terminado por um pêlo. Células de coloração verde azulada, cilíndricas de conteúdo homogêneo.

Medidas: Diâmetro celular (3,2) 3,9 (4,6)  $\mu\text{m}$ ;

Comprimento celular (4,0) 4,55 (5,1)  $\mu\text{m}$ ;

Comentários: As características observadas nos espécimes encontrados estão em conformidade com as descritas por Baeta Neves, (1992) para a espécie.



## Microestratigrafia dos Microbialitos da Lagoa Pitanguinha, Rio de Janeiro, Brasil

Cynthia Moreira Damazio Iespa<sup>1</sup>; Leonardo Borghi<sup>1</sup>; Anderson Andrade Cavalcanti Iespa<sup>1</sup>

*Recebido em 20 de dezembro de 2010 / Aceito em 23 de agosto de 2011*

### Resumo

A Lagoa Pitanguinha está localizada entre as coordenadas 22°55'42" e 22°56'00"S e 42°20'45" e 42°21'30"W, no nordeste do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Este trabalho teve como objetivo a caracterização das microfácies carbonáticas do complexo biogênico estromatólito, trombólito e oncoide recente da Lagoa Pitanguinha. O estudo microestratigráfico destas estruturas carbonáticas permitiu a caracterização de quatro microfácies MM1, MM2, MM3 e MM4 que correspondem a quatro períodos distintos do crescimento das estruturas. Microfácies MM1 é constituída por tubos de serpulídeos e bioclastos cimentados por calcita; na Microfácies MM2 observa-se os processos de dissolução e bioerosão; já a Microfácies MM3 apresenta microlaminações carbonáticas associadas a bioclastos e peloides; a MM4 é dominada por microlaminações contínuas e carbonáticas com micro-oncoides e microestromatólitos. Pode-se observar que as cianobactérias filamentosas foram predominantemente responsáveis pela produção das laminações e as cocoides pelos peloides.

Palavras chave: Estromatólito; trombólito; oncoide; cianobacteria; Lagoa Pitanguinha.

### Abstract

*Lagoa Pitanguinha is located between the coordinates, 22°55'42" e 22°56'00"S and 42°20'45" e 42°21'30"W, in the north-eastern part of the Rio de Janeiro state, Brazil. The objective of this work was characterize carbonatic microfacies, early biogenic complex stromatolite, thrombolite and oncoide at the place. The study microestratigrafic of the carbonatic structure let the characterization of four microfacies: MM1, MM2, MM3 and MM4 corresponding to four different periods of the growth of the structure. Microfacies MM1 constitute by bioclasts and serpulids tubes calcite; Microfacies MM2 observe presence of dissolute and bioerosion process; Microfacies MM3 constitute by continuous carbonatic microlamination with associate bioclasts and peloids; Microfacies MM4 dominate by continuous carbonatic microlamination with micro-oncoids and microstromatolite. It was possible to observe that filament cyanobacteria contributed to formation of blade and the cocoids contributed for of the peloids.*

Keywords: Stromatolite; thrombolite; oncoide; cyanobacteria; Lagoa Pitanguinha.

---

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, UFRJ.  
Rua do Bispo 160 bl 2, apt 1108, Cep 20.261-065. Rio Comprido, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.  
iespa.bio@bol.com.br, acdamazio@bol.com.br

---

## 1. Introdução

Os microbialitos podem ser considerados tanto sedimentos (partículas) quanto rochas sedimentares biogênicas, associada ou não às esteiras microbianas que lhe dão origem (Ignaccolo *et al.*, 2004).

São estruturas litificadas ou não, formadas a partir da interação das cianobactérias com sedimentos. Os estromatólitos, trombólitos, esteiras microbianas, oncoídes e oóides são alguns exemplos de microbialitos (Brehm *et al.*, 2004).

Estromatólitos são estruturas organossedimentares laminadas formadas por atividade microbiana. Essas estruturas laminadas representam o registro mais antigo de vida e provavelmente a principal fonte de informação da evolução dos primeiros seres bentônicos que habitaram a superfície marinha (Vasconcelos *et al.*, 2006). São formados através da união e aprisionamento de grãos sedimentares pelas cianobactérias em ambiente marinho (Allwood *et al.*, 2006).

Os trombólitos são uma estrutura não laminada que podem apresentar na sua constituição interna serpulídeos bentônicos e pelóides (Viscogni *et al.*, 2008). A presença destes tubos é considerada como um produto de distúrbio ou alterações na estrutura do estromatólito. A estrutura coagulada do trombólito pode ser formada por dois caminhos (Braga & Martins, 1995).

O primeiro seria por partículas de aglutinação, como calcificação microbiana (Silva e Silva *et al.*, 2006). Desenvolve-se sobre a borda da plataforma onde águas turbulentas fornecem partículas sedimentares insuficientes e onde alta luminosidade estimula a encrustação em lacunas (Braga & Martins, 1995). Tempestades na água também refletem produção de coágulos e por consequência formação de trombólitos (Landrum, 2007).

O segundo a partir de atividades de alimentação de gastrópodes, serpulídeos bentônico, ostracodes e de outros organismos que destroem as estruturas internas, deixando uma feição grumelosa (Srivastava & Almeida, 2000; Zamagni *et al.*, 2009).

No interior dos trombólitos além das cianobactérias podem ocorrer diatomácea, gastrópodes, bivalves, ostracodes e foraminíferos (Adachi *et al.*, 2006).

Os oncoídes são formados por laminações concêntricas onde seus núcleos podem ser formados por conchas de moluscos ou cianobactérias e sedimentos associados a um ambiente saturado de carbonato de cálcio (Kile *et al.*, 2000).

O estudo dos microbialitos sob enfoque da Geomicrobiologia vem despertando interesse na Geologia Sedimentar em virtude da percepção crescente de que existe uma forte interação microbiana nos processos de sedimentação não só carbonática, quanto também terrígena e evaporítica (Damazio-Iespa *et al.*, 2009).

A raridade de análogos recentes torna as lagoas fluminenses uma das poucas localidades de investigação na formação de microbialitos ainda em associação com esteiras microbianas, o que se constitui de importante relevância no estudo para a exploração de petróleo (Damazio-Iespa & Borghi, 2008).

O estudo destas estruturas permite a correlação dos parâmetros ambientais e ecológicos com propriedades sedimentológicas, em termos de microfácies, e a distribuição dessas propriedades, em termos microestratigráficos, importantes para auxiliar a caracterização das heterogeneidades e da qualidade de potenciais rochas reservatório (Borghi *et al.*, 2008). O objetivo desse estudo foi determinar os tipos de microfácies associados aos microbialitos encontrados na Lagoa Pitanguinha.

## 2. Área de Estudo

No último episódio de transgressão holocênica iniciada há 7000 anos (AP), formaram pequenas lagunas e brejos (Anjos, 1999). Inicialmente formou-se a barreira interna corresponde a um episódio do nível do mar anterior ao Holoceno. As lagunas maiores, localizadas entre a barreira interna e o continente, se desenvolveram durante o Pleistoceno e foram novamente submersas durante a transgressão Holocênica, que por sua vez deu origem ao sistema lagunar e a barreira externa.

Um desmembramento do sistema lagunar externo em pequenas lagunas isoladas ocorreu durante as flutuações posteriores do nível do mar (Turcq *et al.*, 1999a) (Fig. 1).

Esse sistema lagunar é representado pelas lagunas Vermelha, Pernambuco e Pitanguinha, que se localizam ao longo de uma estreita planície entre duas barreiras arenosas (Turcq *et al.*, 1999b).

A datação das conchas e sambaquis da barreira externa por  $^{14}\text{C}$  e condições paleográficas indicam uma idade entre 4.200 a 3.800 anos A.P. (Lopes, 1988).

A lagoa Pitanguinha possui aproximadamente área de 0,55 km<sup>2</sup>, sendo 1,5 km

de comprimento e 0,75 km de largura, está localizada entre as latitudes 22°55'42" e 22°56'00"S e longitudes 42°20'45" e 42°21'30"W, na restinga de Massambaba, próximo ao Município de Araruama (Figs 2 e 3).

A lagoa Pitanguinha é acessível pela rodovia RJ-102 em Praia Seca, Município de Araruama, na sua primeira porção, pelo conjunto residencial Condolan, até o seu ponto mais extremo, localizado no condomínio Village Palm Beach. A borda norte da lagoa, que está voltada para os condomínios, sofreu forte impacto da urbanização e da atividade salinera, enquanto que a borda sul apresenta-se mais preservada da ação antropogênica.

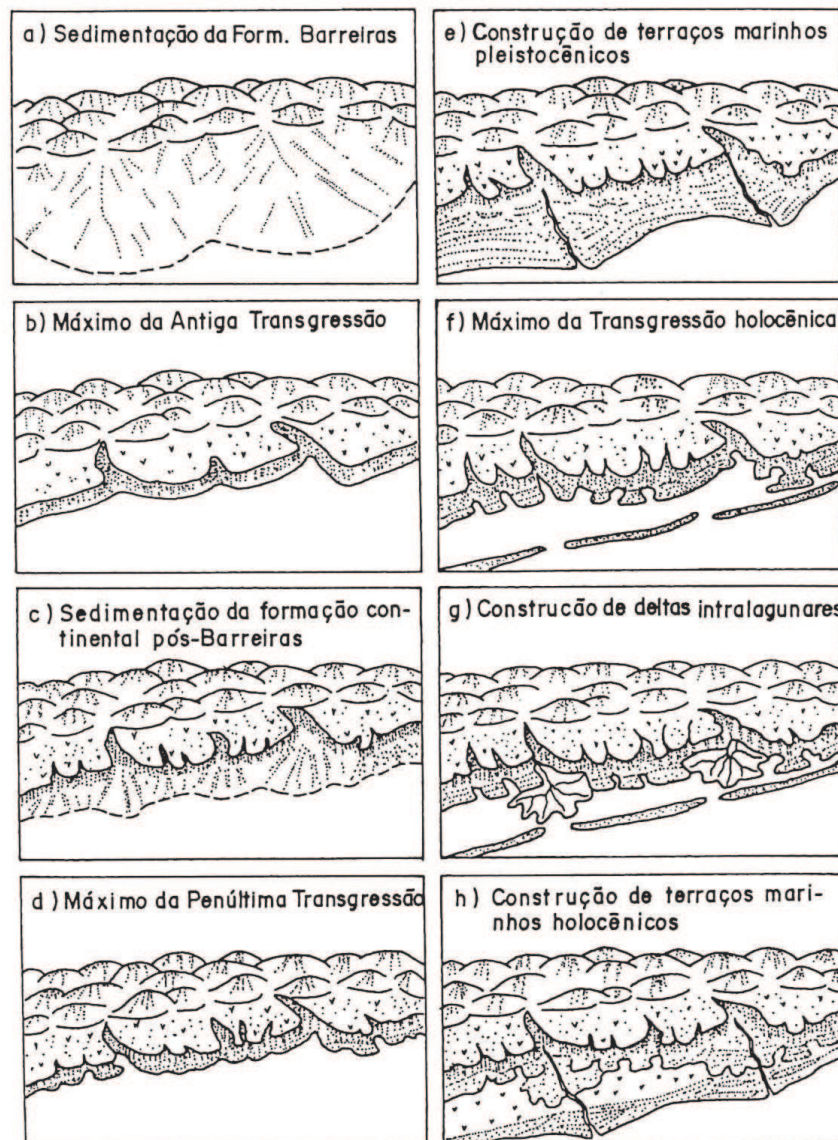


Fig. 1 - Modelo geral de evolução geológica das planícies da costa central brasileira, durante o Quaternário (Suguio 2001).



Fig. 2. Imagem de satélite da lagoa Pitanguinha com a localização dos pontos de coleta.



Fig. 3: Mapa com a localização da lagoa Pitanguinha (Primo & Bizerril, 2002, modificado).

### 3. Materiais e Métodos

No entorno da Lagoa Pitanguinha foram coletados os microbialitos em 7 estações distintas na área, apontados através de GPS. Amostras foram selecionadas segundo os seguintes critérios: morfologia externa, integridade da amostra, coloração e tamanho.

O estudo na área se baseou em coletas trimensais realizadas na região marginal da lagoa, no interior e nas paleomargens, no período de março de 2008 até agosto de 2010. Foram retiradas amostras dos microbialitos, em cinco quadrantes de 1 m<sup>2</sup>, com auxílio de espátula de pedreiro e martelo de geólogo, distanciados em 400 m em sete estações distintas no entorno da lagoa.

Para cada tipo de estrutura identificada no campo foram retirados pelo menos doze exemplares. O material das estruturas carbonáticas amostradas incluem, em média, de 5g a 10 kg.

Definem-se, com base em análise petrográfica (luz fotônica transmitida, polarizável), quatro microfácies (MM1–MM4), as quais se distribuem entre as amostras, numeradas e ordenadas em sequências crescentes, da base para o topo de cada amostra.

Foram preparadas dez lâminas petrográficas para cada tipo de estrutura carbonática com objetivo de observar sua morfologia interna.

### 4. Resultados

O estudo microestratigráfico das estruturas carbonáticas permitiu a caracterização de quatro microfácies microbianas MM1, MM2, MM3 e MM4 que correspondem a quatro períodos distintos do crescimento das estruturas, que permitem reconhecer, em termos microestratigráficos, eventos distintos do desenvolvimento do Plexo Estromatólito Trombólito Oncoide (PETO).

Foram caracterizados petrograficamente diversos grãos carbonáticos (pelóides e coágulos micríticos, micro-oncoides, micro-estromatólito), microlaminações precursoras de estromatólitos e microestruturas trombólíticas, além de grãos de gipsita, que também ocorrem associados a esses grãos.

Observa-se o início de cimentação das partículas (franja isópaca marinha e feições geopetais freáticas). Paralelamente, identificam-se elementos da microfauna associada (foraminíferos, ostracodes, bivalves, gastrópodes e serpulídeos), além da microflora que compõe os microbialitos (*e.g.*, cianobactérias dos gêneros *Chroococcus*, *Aphanotece*, *Microcoleus* e *Schizothrix*).

#### 4.1. Microfácies MM1

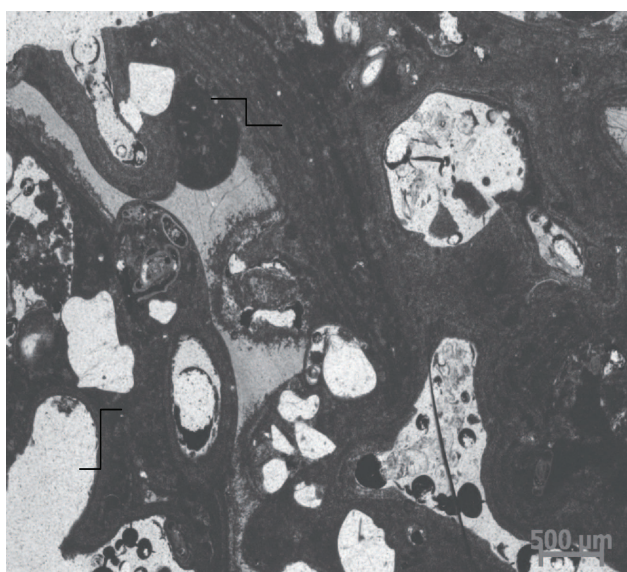
A microfácies MM1 é representada pela base dos trombólitos que demonstra processos de dissolução e bioerosão. Observa-se a presença de tubos de serpulídeos do gênero *Terebella* Linnaeus 1767 ostracodes do gênero *Cyprideis* Jones 1857 e cracas gênero *Chthamalus* Ranzani 1817. Adicionalmente, encontra-se grande quantidade de foraminíferos e bivalves *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin 1791 cimentados por calcita que estão presentes em diferentes organizações. Observa-se microlaminações onduladas e difusas de calcita além de alguns grãos de quartzo com franja isópaca marinha (Fig. 4).

#### 4.2. Microfácies MM2

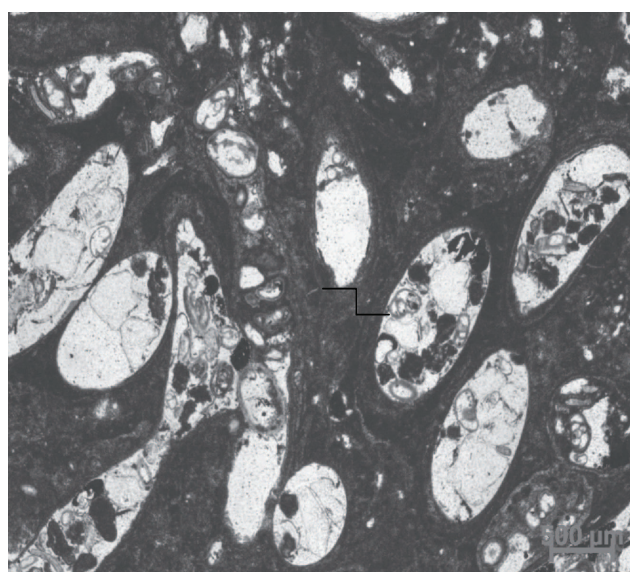
O topo dos trombólitos constituem a microfácies MM2. Caracterizam-se pelo aumento dos processos de dissolução, bioerosão e porosidade. É constituída por bivalves *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin 1791, ostracodes do gênero *Cyprideis* Jones 1857, foraminíferos, gastrópodes *Heleobia australis* d'Orbigny 1835, grãos de quartzo e tubos de serpulídeos do gênero *Terebella* Linnaeus 1767 cimentados por calcita, além de preenchimento das cavidades por calcita (Fig. 5).

#### 4.3. Microfácies MM3

Verificados nos estromatólitos estratiforme e nas esteiras filme, a Microfácies MM3 é constituída por microlaminações carbonáticas crenuladas e contínuas, micro-oncoides, bivalves *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin 1791 e alguns elementos peloidais cimentados por aragonita, calcita e gipsita. Alguns grãos de quartzo com franja isópaca marinha e com feição geopetal (Fig. 6).

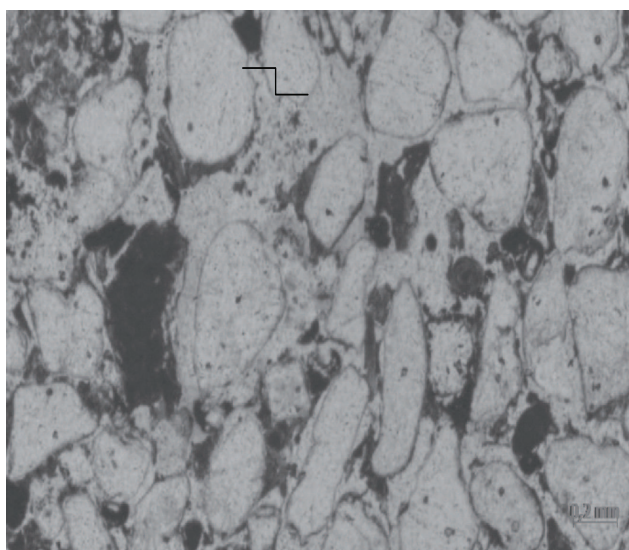


4

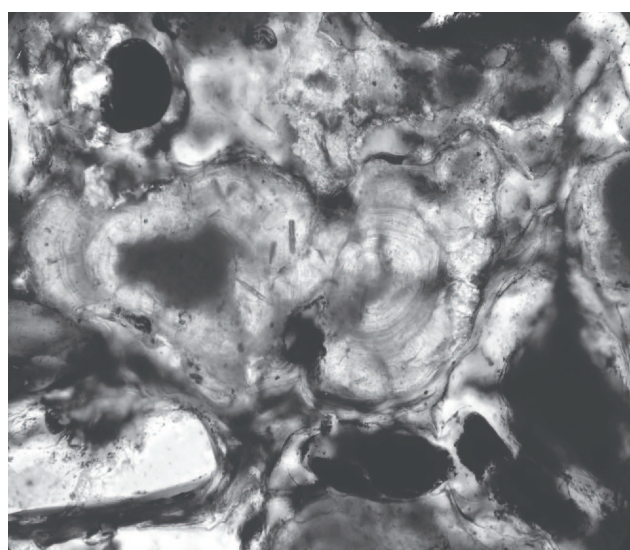


5

Fig. 4 -. Fotomicrografia de uma lâmina petrográfica (nicóis paralelos) do ponto 4. A seta indica microlaminações onduladas e crenulada., Fig. 5 -. Fotomicrografia de uma lâmina petrográfica (nicóis paralelos) do ponto 3. A seta indica tubos de serpulídeos com grãos de quartzo e foraminíferos em seu interior.



6



7

Fig. 6 -. Fotomicrografia de uma lâmina petrográfica (nicóis paralelos) do ponto 3. A seta indica grãos de quartzo cimentados por calcita, Fig. 7 - Fotomicrografia de lâmina petrográfica (nicóis cruzados) do ponto 4 destaque para dois micro-oncoides unidos.

#### 4.4. Microfácies MM4

As esteiras lisa e os oncoides são estruturas constituintes da microfácies MM4 que apresenta microlaminações contínuas, onduladas e crenuladas, estrutura interna organizada com micro-oncoide, microestromatólitos, elementos peloidais, foraminíferos, bivalves *Anomalocardia brasiliana*

Gmelin 1791, grãos de quartzo e trama de cianobactérias filamentosas (Figs. 7).

#### 5. Discussão

A microfácies 1 apresenta coquina de bivalves *Anomalocardia brasiliana* Gmelin 1791

cimentados por calcita. Sua função é aumentar a estabilidade para o crescimento do trombólito. A presença de laminações quartzosas cimentadas por calcita (franja isópaca marinha); tubos de serpulídeos do gênero *Terebella* Linnaeus 1767, cracas do gênero *Chthamalus* Ranzani 1817, bivalves *Anomalocardia brasiliensis* Gmelin 1791, gastrópodes *Heleobia australis* d'Orbigny 1835, foraminíferos, ostracodes do gênero *Cyprideis* Jones 1857 cimentados no interior das laminações quartzosas indicam fase de influência marinha. Nessa microfácies é possível observar a presença de laminações de calcita que foram produzidas por cianobactérias filamentosas.

A microfácies 2 é constituída por uma estrutura carbonática com laminações destruídas, que sofreram as ações de bioerosões por serpulídeos *Terebella* Linnaeus 1767 e gastrópodes *Heleobia australis* d'Orbigny 1835. Processos de bioerosão, dissolução e ação das correntes contribuíram para a formação de uma estrutura porosa. Os processos de dissolução carbonática foram causados pelo aporte de água doce.

A microfácies 3 é formada por microlaminações carbonáticas crenuladas e contínuas e a diminuição dos processos de dissolução e bioerosão o que indica diminuição da turbulência da água.

Os peloides carbonáticos encontrados nessa microfácies foram formados pela preservação de colônias de cianobactérias cocoides. Os micro-oncoides foram formados pela preservação de cianobactérias cocoides associados às filamentosas.

A presença de laminações quartzosas cimentadas por calcita (franja isópaca marinha e feição geopetal) indicam influência marinha.

Com isso a microfácies 2 e 3 representam as fases de transição entre o ambiente marinho e o ambiente lagunar.

A microfácies 4 é dominada por microlaminações contínuas, onduladas e crenuladas além de poucos bioclastos. Essa fácies é resultado do aumento da salinidade e baixa circulação de água que causou a morte gradativa dos organismos que não resistiram essas condições. Exceção feita às cianobactérias que são resistentes a estas condições ambientais e produtoras de laminações onduladas e

contínuas de calcita. Este aumento da salinidade justifica-se pelo canal de comunicação atual existente entre a Lagoa Pitanguinha e a Lagoa Araruama, que por sua vez comunica-se diretamente com oceano.

Os micro-oncoides encontrados na microfácies 4 são formados pela associação de cianobactérias cocoides que formam o núcleo da estrutura e as cianobactérias filamentosas que geram as laminações concêntricas associados a um processo mecânico de rolamento da estrutura.

Não há registro de serpulídeos, gastrópodes, cracas, bivalves, foraminíferos e ostracodes vivos na lagoa atualmente como ocorrem na Lagoa Pernambuco (Iespa, 2006) e na Lagoa Salgada (Iespa *et al.* 2009).

As microfácies dos microbialitos da Lagoa Pitanguinha compartilham componentes em comum com microfácies de outros estromatólitos como, por exemplo, os estromatólitos da Shark Bay na Austrália (Papineau *et al.*, 2005), estromatólito biscuit da Lagoa Vermelha (Alves, 2007), estromatólitos e trombólitos em Storr's Lake, Bahamas (Dupraz *et al.*, 2006) e estromatólitos, trombólitos e oncoides da Lagoa Salgada (Iespa *et al.*, 2009), como por exemplo, as laminações crenuladas, as bioturbações, e a redução da porosidade à medida que nos dirigimos ao topo da estrutura.

Conforme estudos de Braga & Martin (1995), Hipp & Hass (2006) e Nehza & Woo (2006), os estromatólitos estratiformes são formados em ambientes de baixa energia, sendo que a taxa de sedimentação e velocidade da corrente contribuem para a formação morfológica do estromatólito. Adicionalmente, os oncoides distribuem-se na região de pouca profundidade, energia moderada, alta oxigenação, alta incidência luminosa, local em que os fatores ambientais favorecem o desenvolvimento de extensas e complexas comunidades microbianas (Silva e Silva *et al.*, 2007). Já os trombólitos ocorrem em águas superficiais com turbulência e alta luminosidade e, com isso, favorecem a ação da erosão física (Braga & Martin, 1995; Silva e Silva *et al.*, 2005).

Em água mais calma com pouca turbulência as cianobactérias filamentosas formam as laminações aprisionando o sedimento e em



consequência formam os estromatólitos (Landrum, 2007).

Por fim, a luminosidade e a sedimentação são elementos chaves do ecossistema estromatolítico. Outros fatores que impactam a morfologia do estromatólito seria a salinidade, aporte de nutriente, velocidade da corrente, distribuição do tamanho de grãos sedimentares, saturação de carbonato de cálcio, hidrodinamismo, temperatura e competição (Dupraz *et al.*, 2006). Ademais, a ação das correntes e as taxas de erosão e deposição sedimentar são parâmetros que ajudam a controlar o crescimento e o desenvolvimento da estrutura estromatolítica de acordo com resultados de Flügel (2004) e Noffke & Paterson (2008).

## 6. Conclusões

Os microbialitos foram encontrados no interior da Lagoa Pitanguinha e em suas paleomargens indicando que a mesma já apresentou dimensões maiores.

As microfácies 1 e 4 representam a fase de um ambiente marinho com intensa atividade biológica das cianobactérias.

As microfácies 2 e 3 indicam um ambiente transição entre o lagunar e o marinho devido a presença de franja isópaca marinha, aporte de água doce no sistema e diminuição dos bioclastos.

As microfácies 1 e 2 são consideradas como excelentes reservatórios devido a alta porosidade causada por processos de bioerosão e de dissolução além da presença de coquinas.

As cianobactérias cocóides, mais resistentes à predação, preenchem espaços nas esteiras microbianas e produzem peculiarmente coágulos, peloides e micro-oncoides; já as filamentosas, mais adaptadas a condições extremas, precipitam, aprisionam e unem os grãos carbonáticos, produzindo microlaminações que podem ser desorganizadas pela ação de organismos como gastrópodes *Heleobia australis* d'Orbigny 1835 e os serpulídeos do gênero *Terebella* Linnaeus 1767 (bioerosões).

Parâmetros ambientais locais tais como o controle das marés e nível freático, regime hidrológico de chuvas e de ventos, além de propriedades

químicas e físico-químicas das águas (medidos *in loco*), ação de organismos pastadores e da própria biocenose microbiana (analisada), são discutidos na modelagem da morfologia e da estrutura interna dos microbialitos.

## Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela ANP, (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do PRH 18 – UFRJ.

## Referências Bibliográficas

- Adachi, N., Ezaki, Y. & Pickett, J.W., 2006, Marked accumulation patterns characteristic of Lower Devonian stromatoporoid bindstone: Palaeoecological interactions between skeletal organisms and microbes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 231:331-346.
- Allwood, A.C., Walter, M.R., Kamber, B.S., Marshall, C.P. & Burch, I.W., 2006, Stromatolite reef from the early Archaean era of Australia. *Nature*, 441(8): 714-718.
- Alves, S.A.P.M.N., 2007, Estudo geomicrobiológico dos estromatólitos biscuit da lagoa Vermelha (Estado do Rio de Janeiro – Brasil). Dissertação de Mestrado, UFRJ, 141p.
- Anjos, A.P.A., 1999, Caracterização da sedimentação atual de lagunas costeiras do litoral do Estado do Rio de Janeiro para fins de calibração de acordo com as variações paleoambientais e paleoclimáticas. Dissertação de Mestrado, UFF, 133p.
- Borghini, L., Damazio-Iespa, C.M. & Iespa, A.A.C., 2008, Microbialitos nas lagoas fluminenses: Análogos deposicionais para modelos geológicos exploratórios. In: 43 CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Curitiba, Resumos, Paraná, p.1043.
- Braga, J.C. & Martin, J.M., 1995, Controls on microbial dome fabric development along a carbonate-siliciclastic shelf-basin transect, Miocene, SE Spain. *Palaios*, 10:347-361.
- Brehm, U., Palinska, K.A. & Krumbein, W.E., 2004, Laboratory cultures of calcifying biomicrospheres generate ooids – A contribution to the origin of oolites. *Carnets de Géologie/Notebooks on Geology*, Maintenon, Letter 3:6.

- Damazio-Iespa, C.M. & Borghi, L., 2008, Microestratigrafia das estruturas carbonáticas litificadas holocênicas da lagoa Pitanguinha, Nordeste estado do Rio de Janeiro, Brasil. In: 6 ENCONTRO DOS PROGRAMAS DE FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS PARA O SETOR DE PETRÓLEO E GÁS UFRJ/ANP. Rio de Janeiro, Resumos, Rio de Janeiro, Cd-Rom.
- Damazio-Iespa, C.M., Borghi, L. & Iespa, A.A.C., 2009, Microbialitos da lagoa Pitanguinha (RJ): Aspectos geomicrobiológicos aplicados à exploração de petróleo. 5 CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, Fortaleza, Trabalho Completo, Ceará, Cd-Rom.
- Dunham, R.J., 1962, Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: HAM, W.E. Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir, New York, p.108-121.
- Dupraz, C., Patisina, R. & Verrecchia, E.P., 2006, Translation of energy into morphology simulation of stromatolite morphospace using a stochastic model. *Sedimentary Geology*, 185:185-203.
- Folk, R.L., 1962, Spectral subdivision of limestone types. In: HAM, W.E. Classification of Carbonate Rocks - A Symposium. American Association of Petroleum Geologists Memoir, New York, p.62-84.
- Flügel, E., 2004, *Microfacies of Carbonate Rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 976p.
- Hipp, K. & Haas, J., 2006, Calcimicrobial stromatolites at the Permian-Triassic boundary in a western Tethyan section, Bukk Mountains, Hungary. *Sedimentary Geology*, 185:239-253.
- Iespa, A.A.C., 2006, Estudo geomicrobiológico da lagoa Pernambuco, Região dos Lagos (Estado do Rio de Janeiro). Dissertação de Mestrado, UFRJ, 116p.
- Iespa, A.A.C., Borghi, L. & Damazio-Iespa, C.M., 2009, Microestratigrafia do Complexo Estromatólito, Trombólito e Oncoide Holocênico da Lagoa Salgada, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista de Geologia*, 22(1):7-14.
- Ignaccolo, M., Schwettmann, A., Failla, R., Storrie-Lombardi, M.C. & Grigolini P., 2004, Stromatolites: Why do we care? *Chaos, Solitons and Fractals*, 20:145-148.
- Kile, D.E., Eberl, D.D., Hock, A.R. & Reddy, M.M., 2000, An assessment of calcite crystal growth mechanisms based on crystal size distributions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64:2937-2950.
- Landrum, N.W., 2007, Characterizing and interpreting the microstratigraphy of a stromatolite/thrombolite from a hypersaline inland lake, San Salvador, Bahamas. In: 46 ANNUAL MEETING SOUTHEASTERN SECTION GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, Georgia, Abstract, USA, 39(2):69.
- Lopes, C.E.A., 1988, Estudo em laboratório de absorção do metal cobre pelo tapete de algas bênticas da Lagoa Vermelha - Município de Araruama - Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, UFF, 56p
- Nehza, O. & Woo, K.S., 2006, The effect of subaerial exposure on the morphology and microstructure of stromatolites in the Cretaceous Sinyangdong Formation, Gyeongsang Supergroup, Korea. *Sedimentology*, 53:1121-1133.
- Noffke, N. & Paterson, D., 2008, Microbial interactions with physical sediment dynamics, and their significance for the interpretation of Earth's biological history. *Geobiology*, 6:1-4.
- Papineau, D., Walker, J.J., Mojzsis, S.J. & Pace, N.R., 2005, Composition and structure of microbial communities from stromatolites of Hamelin Pool in Shark Bay, western Australia. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(8):4822-4832.
- Silva e Silva, L.H., Srivastava, N.K., Iespa, A.A.C & Damazio, C.M., 2007, Evidência de oncoídes recentes na lagoa Salgada, norte do estado do Rio de Janeiro, sudeste brasileiro. *Revista Universidade Guarulhos-Geociências*, 6(1):201-206.
- Silva e Silva, L.H., Iespa, A.A.C & Damazio, C.M., 2006, Trombólitos e cianobactérias da lagoa Pernambuco, Holoceno do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 6(2):243-250.
- Silva e Silva, L.H., Damazio, C.M. & Iespa, A.A.C., 2005, Composição cianobacteriana em trombólitos da lagoa Pitanguinha (Holoceno), Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *GAEA*, 1(2):75-81.
- Suguio, K. 2001. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais*. Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, São Paulo, 366p.
- Srivastava, N.K. & Almeida, L.B., 2000, Lagoa Salgada (Rio de Janeiro): recent stromatolites. In: 31 INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, Rio de Janeiro, Resumo, Rio de Janeiro, p.14.

- Turco, B., Martin, L., Flexor, M., Suguio, K., Pierre, C. & Ortega, L.T., 1999a. Origin and evolution of the quaternary coastal Plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brazil. Rio de Janeiro, UFF, p.25-46.
- Turco, P. F. M., Barbosa, J.A. & Pereira, J. R., 1999b, Chemical, physical and biological characterization of surficial sediments in the Araruama Lagoon. In: 3 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY IN TROPICAL COUNTRIES, Nova Friburgo, Resumo, Rio de Janeiro, p.4.
- Vasconcelos, C., Visscher, P.T., Warthmann, R.J. & Mckenzie, J.A., 2006, Modern stromatolites from lagoa Vermelha, Brasil: An analogue for benthos microbial associations on the early Earth. Geophysical Research Abstracts. 8: 9423.
- Viscogni, A., Guido, A., Mastandrea, A. & Russo, F., 2008, Microbialite-vermetid community (Salento Peninsula, southern Italy): a late miocene example of automicrite deposition in confined spaces. In: REITNER, J.; QUÉRIC, N.V. & REICH, M. (eds.). Geobiology of stromatolites. International Kalkowsky Symposium, Universitätsverlag Gottingen, Gottingen, p.127-129.
- Zamagni, J., Kosir, A. & Mutti, M., 2009, The first microbialite – coral mounds in the Cenozoic (Uppermost Paleocene) from the Northern Tethys (Slovenia): Environmentally triggered phase shifts preceding the PETM? Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 274:1-17.

# MICROFACIES MICROBIANAS DAS ESTRUTURAS MICROBIALÍTICAS DA LAGOA PITANGUINHA, RIO DE JANEIRO, BRASIL

## *MICROBIAL MICROFACIES MICROBIALITICS STRUCTURES LAGOA PITANGUINHA, RIO DE JANEIRO, BRAZIL*

Cynthia Moreira Damazio Iespa, Leonardo Borghi & Anderson Andrade Cavalcanti Iespa

Universidade Federal do Rio de Janeiro - Instituto de Geociências. Departamento de Geologia. Av. Athos da Silveira Ramos, 274, CCMN, 21941-916, Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, Brasil

E-mails: [acdamazio@bol.com.br](mailto:acdamazio@bol.com.br), [lborghi@geologia.ufrj.br](mailto:lborghi@geologia.ufrj.br), [iespa.bio@bol.com.br](mailto:iespa.bio@bol.com.br)

## RESUMO

A Lagoa Pitanguinha está localizada entre as coordenadas 22°55'42" e 22°56'00"S e 42°20'45" e 42°21'30"W, no nordeste do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Este trabalho teve como objetivo a caracterização das microfácies carbonáticas do complexo biogênico estromatólito, trombólito e oncoide recente da Lagoa Pitanguinha. O estudo microestratigráfico destas estruturas carbonáticas permitiu a caracterização de quatro microfácies MM1, MM2, MM3 e MM4 que correspondem a quatro períodos distintos do crescimento das estruturas. Microfácies MM1 é constituída predominantemente por bioclastos cimentados por calcita; na Microfácies MM2 observa-se os processos de dissolução e bioerosão principalmente por serpulídeos; na Microfácies MM3 apresenta microlaminações carbonáticas associadas a bioclastos e peloides; a MM4 é dominada por microlaminações contínuas e carbonáticas com micro-oncoides e microestromatólitos

**Palavras-chave:** estromatólito, cianobactéria, Lagoa Pitanguinha

## ABSTRACT

Lagoa Pitanguinha is located between the coordinates, 22°55'42" - 22°56'00"S and 42°20'45" - 42°21'30"W, in the northeastern region of the Rio de Janeiro State, Brazil. It was characterized the carbonatic microfacies early biogenic complex stromatolite, thrombolite and oncooid of this lagoon. The microstratigraphy study of the carbonatic structures allow the identification of four microfacies - MM1, MM2, MM3 and MM4 – that are related to four distinct growth periods of these structures. Microfacies MM1 consists mainly of bioclasts cemented by calcite; Microfacies MM2 shows processes of dissolution and bioerosion by serpulids; Microfacies MM3 is composed by continuous carbonatic microlamination associate with bioclasts and peloids; Microfacies MM4 is dominated by continuous carbonatic microlamination with micro-oncooids and microstromatolites.

**Keywords:** stromatolite, cyanobacteria, Lagoa Pitanguinha

## 1. INTRODUÇÃO

Os microbialitos são depósitos minerais resultantes da organomineralização. Podem ser denominados como microbiólitos, automicrita e organomicrita (Burne & Moore, 1987).

Estromatólitos, trombólitos, oncólitos são alguns exemplos de microbialitos (Sheehan & Harris, 2004). Em um único microbialito podemos encontrar fases estromatolíticas, trombolíticas e oncolíticas (Zanagni *et al.*, 2009).

Esteiras microbianas são ecossistemas que foram diretamente afetados pelas alterações das condições ambientais que a Terra passou ao longo do tempo geológico. São sistemas organossedimentares laminados (Dupraz *et al.*, 2009; Burns *et al.*, 2010).

As cianobactérias presentes nas esteiras microbianas precipitam o carbonato de cálcio e, com isso, unem e aprisionam os sedimentos disponíveis no sistema. Este processo resulta numa estrutura laminada chamada de estromatólito (Baungartner *et al.*, 2009).

Estromatólitos são estruturas organossedimentar produzidas pelo trapeamento, união e precipitação devido à atividade de microrganismos principalmente cianobactérias. O crescimento do estromatólito ocorre através das cianobactérias filamentosas que precipitam calcita no interior da bainha de mucilagem (Zarza, 2010).

Já os trombólitos são estruturas organossedimentares carbonáticas que são resultados da união e aprisionamento de sedimento por cianobactérias formando uma estrutura com poucas laminações ou ausência delas além de coágulos micríticos (Shapiro & Awramik, 2006; Flügel, 2010). Podem ser formados por vários processos como calcificação de microfósseis, e precipitação carbonática da comunidade cianobacteriana esférica (cocóide), associadas com uma interação complexa de aglutinação irregular, incrustação esquelética, processos erosivos e bioturbação (Zanagni *et al.*, 2009).

Os oncoides são pequenos e consistem em núcleos mais ou menos distintos (conchas de moluscos ou cianobactérias) e o córtex da estrutura, pode ser irregular e, não concêntrico com lâminas de micrita. No interior das laminações exibem estruturas biológicas e sedimentos associados a um ambiente saturado de carbonato de cálcio (Kile *et al.*, 2000; Flügel, 2004). Os oncoides concêntricos ou radiais são comuns no interior de trombólitos porosos e coagulados (Mingxiang, 2007). São encontrados em água doce, salobra e hipersalina (Flügel, 2010).

A raridade de análogos recentes torna as lagoas fluminenses uma das poucas oportunidades de investigação de formação de microbialitos ainda em associação com esteiras microbianas, o que se constitui na relevância do estudo para a exploração de petróleo (Damazio-Iespa & Borghi, 2008).

O interesse exploratório de HC em sequências carbonáticas onde se registram microbialitos enfrenta a carência de análogos deposicionais modernos, tal como ocorre para os reservatórios petrolíferos do intervalo “Pré-sal” da bacia de Santos. O estudo destas estruturas permite a correlação dos parâmetros ambientais e ecológicos com propriedades sedimentológicas, em termos de microfácies, e a distribuição dessas propriedades, em termos microestratigráficos, importantes para auxiliar a caracterização das heterogeneidades e da qualidade de potenciais rochas reservatório (Borghi *et al.*, 2008).

O objetivo desse estudo foi determinar os tipos de microfácies associada aos microbialitos encontrados na Lagoa Pitanguinha.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa Pitanguinha possui aproximadamente área de 0,55 km<sup>2</sup>, sendo 1,5 km de comprimento e 0,75 km de largura, está localizada entre as latitudes 22°55'42" e 22°56'00"S e longitudes 42°20'45" e 42°21'30"W, na restinga de Massambaba, próximo ao Município de Araruama.



**Figura 1.** Mapa com a localização da lagoa Pitanguinha (Damazio, 2008).

No último episódio de transgressão holocênica iniciada há 7000 anos (AP), formaram pequenas lagunas e brejos (Anjos, 1999). Porém, a barreira interna corresponde a um episódio do nível do mar anterior ao Holoceno. As lagunas maiores, localizadas entre a barreira interna e o continente, se desenvolveram durante o Pleistoceno e foram novamente submersas durante a transgressão Holocênica, que por sua vez deu origem ao sistema lagunar e a barreira externa. Um desmembramento do sistema lagunar externo em pequenas lagunas isoladas ocorreu durante as flutuações posteriores do nível do mar (Turcq *et al.*, 1999a).

Esse sistema lagunar é representado pelas lagoas Vermelha, Pernambuco e Pitanguinha, que se localizam ao longo de uma estreita planície entre duas barreiras arenosas (Turcq *et al.*, 1999b).

A datação das conchas e sambaquis da barreira externa por <sup>14</sup>C e condições paleográficas indica uma idade entre 4.200 a 3.800 anos A.P. (Lopes, 1988).

### 3. MATERIAIS E METODOS

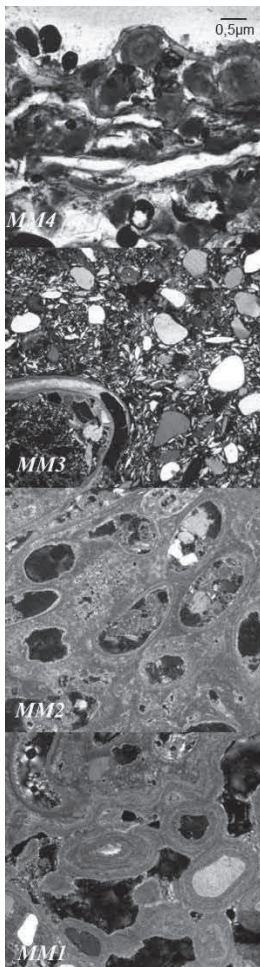
No entorno da Lagoa Pitanguinha foram coletados os microbialitos em 7 estações distintas na área, apontados através de GPS. Amostras foram selecionadas segundo os seguintes critérios: morfologia externa, integridade da amostra, coloração e tamanho.

O estudo na área se baseou em coletas trimensais realizadas na região marginal da lagoa, no interior e nas paleomargens, no período de março de 2008 até março de 2011. Foram retiradas amostras dos microbialitos, em cinco quadrantes de 1 m<sup>2</sup>, com auxílio de espátula de pedreiro e martelo de geólogo, distanciados em 400 m em sete estações distintas no entorno da lagoa.

Para cada tipo de estrutura identificada no campo foram retirados pelo menos doze exemplares.

Definem-se, com base em análise petrográfica (luz fotônica transmitida, polarizável), quatro microfácies (MM1–MM4), as quais se distribuem entre as amostras, numeradas e ordenadas em seqüências crescentes, da base para o topo de cada amostra, que permitem reconhecer, em termos microestratigráficos, eventos distintos do desenvolvimento do Plexo Estromatólito-Trombólito-Oncoide (PETO).

Foram preparadas dez lâminas petrográficas para cada tipo de estrutura carbonática com objetivo de observar sua morfologia interna.



**Figura 2.** Fotomicrografias de lâminas petrográficas das microfácies microbianas (MM1, MM2, MM3 e MM4).

Neste estudo foram realizadas análises de isótopos de carbono e oxigênio. O estudo combinado de isótopos de carbono e oxigênio em rochas carbonáticas é usado na distinção dos processos envolvidos na formação dos mesmos e, também, no entendimento e na determinação dos ambientes diagenéticos. A composição isotópica é representada de acordo com o padrão internacional Viena *Pee Dee Belemnite* (V-PDB) e os resultados são expressos em partes por mil (‰). O estudo de isótopos de oxigênio em carbonatos pode ser usado para determinar a origem dos fluidos em equilíbrio com os carbonatos e, ao mesmo tempo, permite estimar a temperatura de formação dos mesmos (Shackleton, 1987 *apud* Weissert *et al.*, 2008). Tal análise foi feita no laboratório LGQM - Laboratório de Estratigrafia Química e Geoquímica Orgânica na UERJ (Universidade Estadual do Rio de Janeiro)

### 4. RESULTADOS

O estudo microestratigráfico das estruturas carbonáticas permitiu a caracterização de quatro microfácies microbianas MM1, MM2, MM3 e MM4 que correspondem a quatro períodos distintos do crescimento das estruturas.

### Microfácies MM1

A microfácies MM1 é representada pela base dos trombólitos que demonstra processos de dissolução e bioerosão. Presença de tubos de serpulídeos do gênero *Terebella* Linnaeus, 1767, ostracodes do gênero *Cyprideis* Jones, 1857 e cracas gênero *Chthamalus* Ranzani, 1817. Grande quantidade de foraminíferos e bivalvíos *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin, 1791, cimentados por calcita que estão presentes em diferentes organizações. Observa-se microlaminações onduladas e difusas de calcita, além de, alguns grãos de quartzo com franja isópaca marinha. Apresenta porosidade primária seletiva dos tipos *Inter particle*, *Intra particle* e não seletiva do tipo *Vug*. Compactação plástica, com fraturamento de grãos frágeis além de contatos côncavos convexos. A granulometria compreende preferencialmente de grãos de quartzo tamanho areia fina a grossa, ângulos à bem arredondados moderadamente selecionados. A análise isotópica revelou para  $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  o valor de -2,4 e  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  o valor de 0,6.

### Microfácies MM2

O topo dos trombólitos constituem a microfácies MM2. Caracterizam-se pelo aumento dos processos de dissolução, bioerosão e porosidade. Foram verificados nesta microfácies oncóides, pelóides e baixa quantidade de bioclastos, pertencentes principalmente aos grupos dos gastrópodes e foraminíferos íntegros e fragmentados. Os bivalvíos encontrados pertencem a espécie *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin, 1791, ostracodes são do gênero *Cyprideis* Jones, 1857, e os gastrópodes da espécie *Heleobia australis* d'Orbigny, 1835, grãos de quartzo e tubos de serpulídeos do gênero *Terebella* Linnaeus, 1767 cimentados por calcita, além de preenchimento das cavidades por calcita proveniente por fluxo detrítico. Apresenta porosidade primária seletiva do tipo *Intra particle* e não seletiva dos tipos *Burrow* e *Vug*. Compactação plástica, com fraturamento de grãos frágeis. A granulometria compreende preferencialmente de grãos de quartzo tamanho areia fina a média, ângulos à arredondados bem selecionados. A análise isotópica revelou para  $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  o valor de -4,4 e  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  o valor de 0,4.

### Microfácies MM3

Os estromatólitos estratiforme (Microfácies MM3) são constituídos por microlaminações carbonáticas crenuladas e contínuas, micro-oncoides, bivalvíos *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin, 1791 e alguns elementos peloidais cimentados por aragonita, calcita e gipsita. A granulometria compreende principalmente de grãos de quartzo tamanho areia média superior, bem selecionados e muito bem arredondados, com franja isópaca marinha de e alguns ainda demonstraram feição geopetal em aragonita. Também foram observados carbonatos em coágulos, fragmentos de concha de bivalvíos e gastrópodes alóctones reelaborados, com matriz de carbonato. Os cristais de gipsita apresentavam-se com aparência sub-horizontal e eventualmente imbricados alterando a trama original dos grãos. Compactação plástica, com fraturamento de grãos frágeis. Estas estruturas acima citadas também são verificadas na esteira filme. A análise isotópica revelou para  $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  o valor de -4,3 e  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  o valor de -0,1.



## Microfácies MM4

Os oncoides são estruturas constituintes da microfácies MM4 que apresenta microlaminações contínuas, onduladas e crenuladas, estrutura interna organizada com micro-oncoide, microestromatólitos, elementos peloidais, foraminíferos, bivalvíos *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin, 1791, grãos de quartzo e trama de cianobactérias filamentosas. A granulometria é constituída principalmente por grãos de quartzo tamanho areia média superior moderadamente selecionados com lâminas de calcita. Apresenta compactação plástica, com fraturamento de grãos frágeis. Essas características dos oncoides também podem ser observadas na esteira lisa. A análise isotópica revelou para  $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  o valor de -1,9 e  $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  o valor de 1,4.

## 5. DISCUSSÃO

A microfácies 1 apresenta uma coquina com bivalvíos *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin, 1791 cimentados por calcita. Sua função é aumentar a estabilidade para o crescimento do trombólito. A presença de laminações quartzosas cimentadas por calcita (franja isópaca marinha); tubos de serpulídeos do gênero *Terebella* Linnaeus, 1767, cracas do gênero *Chthamalus* Ranzani, 1817, bivalvíos *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin, 1791, gastrópodes *Heleobia australis* d'Orbigny, 1835, foraminíferos, ostracodes do gênero *Cyprideis* Jones, 1857 cimentados no interior das laminações quartzosas indicam fase de influência marinha.

Nessa microfácies é possível observar a presença de laminações de calcita que foram produzidas por cianobactérias filamentosas.

A microfácies 2 é constituída por uma estrutura carbonática com laminações destruídas, que sofreram as ações de bioerosões por serpulídeos *Terebella* Linnaeus, 1767 e gastrópodes *Heleobia australis* d'Orbigny, 1835. Processos de bioerosão, dissolução e ação das correntes contribuíram para a formação de uma estrutura porosa. Os processos de dissolução carbonática foram causados pelo aporte de água doce.

A microfácies 2 encontrada na Lagoa Pitanguinha nos trombólitos apresenta as mesmas características sedimentológicas e microbiológicas da microfácies 2 observada nos trombólitos e estromatólitos da Lagoa Salgada (Iespa, 2010).

A microfácies 3 é formada por microlaminações carbonáticas crenuladas e contínuas e a diminuição dos processos de dissolução, bioerosão indicam diminuição da turbulência da água e aumento gradativo da salinidade, indicando um período transicional.

Já os peloides carbonáticos encontrados nessa microfácies foram formados pela preservação de colônias de cianobactérias cocoides. Os micro-oncoídes foram formados pela preservação de cianobactérias cocoides associadas as filamentosas.

A presença de laminações quartzosas cimentadas por calcita (franja isópaca marinha e feição geopetal) indica período de influência marinha.

As microfácies 2 e 3 indicam uma transição entre o ambiente marinho e o ambiente lagunar semelhante ao encontrado na microfácies 3 dos estromatólitos da Lagoa Salgada (Iespa, 2010).

A microfácies 4 é dominada por microlaminações contínuas, onduladas e crenuladas e poucos bioclastos, resultado do aumento da salinidade e baixa circulação de água causou a morte gradativa dos organismos que não resistiram essas condições. Com exceção das cianobactérias que são resistentes a estas condições ambientais, produziram laminações onduladas e contínuas de calcita.

Os micro-oncoides encontrados na microfácies 4 são formados pela associação de cianobactérias cocoides que formam o núcleo da estrutura e as cianobactérias filamentosas que geram as laminações concêntricas associados a um processo mecânico de rolamento da estrutura.

A microfácies 4 indica um ambiente marinho. Este aumento da salinidade justifica-se pelo canal de comunicação atual existente entre a lagoa Pitanguinha e a lagoa Araruama, que por sua vez comunica-se diretamente com oceano.

Não há registro serpulídeos, gastrópodes, cracas, bivalvíos, foraminíferos e ostracodes vivos na lagoa atualmente como que ocorre para as lagoas Pernambuco Iespa (2006), Vermelha Alves (2007) e Salgada por Iespa (2010).

As microfácies dos microbialitos da Lagoa Pitanguinha compartilham componentes em comum com microfácies de outros estromatólitos como, por exemplo, os estromatólitos da Shark Bay na Austrália Papineau *et al.* (2005), estromatólito biscuit da Lagoa Vermelha Alves (2007), estromatólitos e trombólitos em Storr's Lake, Bahamas Dupraz *et al.* (2006), estromatólitos, trombólitos da Lagoa Pernambuco (Iespa, 2006) e estromatólitos, trombólitos e oncoides da Lagoa Salgada (Iespa, 2010), como por exemplo as laminações crenuladas, as bioturbações, e a redução da porosidade a medida que nos dirigimos ao topo da estrutura.

A formação do estromatólito é favorecida pela regularidade temporal, espaço liso, sedimentos variados, competição, salinidade, aporte de nutriente, saturação de carbonato de cálcio, boas condições luminosas, baixa sedimentação, velocidade da corrente, colonização por cianobactérias e ambientes de baixa energia (Braga & Martin, 1995; Hipp & Hass, 2006; Nehza & Woo, 2006; Dupraz *et al.*, 2006 e Zanagni *et al.*, 2009).

Os oncoides distribuem-se na região de pouca profundidade, energia moderada, alta oxigenação, alta incidência luminosa, local em que os fatores ambientais favorecem o desenvolvimento de extensas e complexas comunidades microbianas (Silva e Silva *et al.*, 2007).

Os trombólitos ocorrem em águas superficiais com turbulência e alta luminosidade, com isso, favorecem a ação da erosão física concordando com Braga & Martin (1995) e Silva e Silva *et al.* (2005).

A ação das correntes e as taxas de erosão e deposição sedimentar são parâmetros que ajudam a controlar o crescimento e o desenvolvimento da estrutura estromatolítica de acordo com resultados de Flügel (2004), Noffke & Paterson (2008) e Planavsky & Grey (2008).

Os valores das relações isotópicas de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e do oxigênio ( $\delta^{18}\text{O}$ ) em carbonatos dependem inicialmente do seu ambiente de deposição. O  $^{13}\text{C}$  e  $^{18}\text{O}$  são relativamente mais abundantes nas águas dos oceanos e, comparativamente, as águas doces são deficientes nestes isótopos. A temperatura da água, a partir do qual os carbonatos estão sendo formados, constitui um fator importante de modificação dos valores isotópicos do oxigênio. Um aumento da temperatura favorece a deposição de carbonatos mais ricos em  $^{16}\text{O}$ , enquanto que a diminuição da temperatura induz a um efeito contrário, ou seja formação de carbonatos mais ricos em  $^{18}\text{O}$ .

Os resultados isotópicos encontrados na Lagoa Pitanguinha indicam para as microfácies 1 e 4 um ambiente marinho e para as microfácies 2 e 3 um ambiente transicional corroborando com os resultados obtidos através da petrografia.

As variações de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  foram consideradas, como indicadores de flutuações de paleossalinidade (Keith & Weber, 1964 *apud* Carvalho, 1989). Mais recentemente, variações positivas de  $\delta^{13}\text{C}$  em ambientes marinhos têm sido correlacionadas a ciclos transgressivos ou eventos anóxicos, enquanto que variações negativas indicariam ciclos regressivos (Scholle & Artur 1980 *apud* Carvalho, 1989).

## 6. CONCLUSÕES

Os microbialitos foram encontrados no interior da Lagoa Pitanguinha e em suas paleomargens indicando que a mesma já apresentou dimensões maiores. Durante sua formação sofreu grande influência marinha, passou por momentos de transição e atualmente sua salinidade varia de salgada a hipersalina.

As microfácies 1 e 4 representam a fase de um ambiente marinho com turbulência e intensa atividade biológica das cianobactérias. As microfácies 2 e 3 indicam um ambiente transição entre o lagunar e o marinho devido a presença de franja isópaca marinha, aporte de água doce no sistema e diminuição dos bioclastos.

As microfácies 1 e 2 são consideradas como excelentes reservatórios devido a alta porosidade causada por processos de bioerosão e de dissolução e pela presença de coquinas.

As cianobactérias cocóides, mais resistentes à predação, preenchem espaços nas esteiras microbianas e produzem peculiarmente coágulos, peloides e micro-oncoides; já as filamentosas, mais adaptadas a condições extremas, precipitam, aprisionam e unem os grãos carbonáticos, produzindo microlaminações que podem ser desorganizadas pela ação de organismos como gastrópodes *Heleobia australis* d'Orbigny, 1835 e os serpulídeos do gênero *Terebella* Linnaeus, 1767 (bioerosões).

Foi observado que o teor de  $\text{CaCO}_3$  nas amostras possui uma boa correlação com o sinal de  $\delta^{13}\text{C}$ , porém possui um comportamento praticamente inverso ao do  $\delta^{18}\text{O}$ . Isto se deve ao fato do material ter sido coletado em uma região tropical e muito próxima ao equador, onde as temperaturas atmosféricas e oceânicas são sempre relativamente elevadas e com pequenas amplitudes entre períodos frios e quentes.

Parâmetros ambientais locais tais como o controle das marés e nível freático, regime hidrológico de chuvas e de ventos, além de propriedades químicas e físico-químicas das águas (medidos *in loco*) e da própria biocenose microbiana (analisada), são discutidos na modelagem da morfologia e da estrutura interna dos microbialitos.

Os microbialitos da Lagoa Pitanguinha apresentaram forte consonância com as descritas para outros ambientes hipersalinos, tanto no Brasil como para outras partes do mundo, mostrando que estas estruturas quando expostas a ambientes físico-químicos similares apresentam comportamento semelhante.

## 7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela ANP (Agência Nacional de Petróleo).

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, S.A.P.M.N. 2007. *Estudo geomicrobiológico dos estromatólitos biscuit da Lagoa Vermelha (Estado do rio de janeiro – brasil)*. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 141p.
- ANJOS, A.P.A. 1999. *Caracterização da sedimentação atual de lagunas costeiras do litoral do Estado do Rio de Janeiro para fins de calibração de acordo com as variações paleoambientais e paleoclimáticas*. Dissertação (Mestrado em Geoquímica), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 133p.
- BAURNGARTNER, L.K.; SPEAR, J.R.; BUCKLEY, D.H.; PACE, N.R.; REID, R.P.; DUPRAZ, C. & VISCHER, P.T. 2009 Microbial diversity in modern marine stromatolite, Highborne Cay, Bahamas. *Environmental Microbiology*, 11(10):2710-2719.
- BORGHI, L.; DAMAZIO-IESPA, C.M. & IESPA, A.A.C. 2008. Microbialitos nas lagoas fluminenses: Análogos deposicionais para modelos geológicos exploratórios. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 44, Curitiba, 2008. *Resumos*, Paraná, p.1043.
- BRAGA, J.C. & MARTIN, J.M. 1995. Controls on microbial dome fabric development along a carbonate-siliciclastic shelf-basin transect, Miocene, SE Spain. *Palaaios*, 10:347-361.
- BURNS, B.P.; GOH, F.; ALLEN, M.A.; SHI, R. & NEILAN, B.A. 2010. Extant Analogues of the microbial origins of life. *In: JAIN, S.K.; KHAN, A.A. & RAI, M.K. (Eds.). Geomicrobiology*. CRC Press, New York p. 237-254
- BURNE, R.V. & MOORE, L.S. 1987. Microbialite: organosedimentary deposits of benthic microbial communities. *Palaaios*, 2:241-254.
- CARVALHO, M.D. 1989. *Microfácies, Modelo Depositional e Evolução da Plataforma Carbonática do Eo/Mesoalbio da Bacia de Santos*. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- DAMAZIO-IESPA, C.M. 2008. *Estudo sedimentológico e geomicrobiológico das esteiras microbianas da Lagoa Pitanguinha, Região dos Lagos, Estado do Rio de Janeiro, Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Geologia. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 96p.
- DAMAZIO-IESPA, C.M. & BORGHI, L. 2008. Microestratigrafia das estruturas carbonáticas litificadas holocênicas da Lagoa Pitanguinha, Nordeste estado do Rio de Janeiro, Brasil. *In:*

ENCONTRO DOS PROGRAMAS DE FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS PARA O SETOR DE PETRÓLEO E GÁS UFRJ/ANP,6, Rio de Janeiro, 2008. *Resumos*, Rio de Janeiro, Cd-Rom.

- DUPRAZ, C.; PATTISINA, R. & VERRECCHIA, E.P. 2006. Translation of energy into morphology simulation of stromatolite morphospace using a stochastic model. *Sedimentary Geology*, 185:185-203.
- DUPRAZ, C.; REID, R.P.; BRAINSANT, O.; DECHO, A.W.; NORMAN, R.S. & VISCHER, P.T. 2009. Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. *Earth-Science Reviews*, 96:141-162.
- FLÜGEL, E. 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 100.
- FLÜGEL, E. 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks*. Second Edition, Springer-Verlag Heidelberg, p. 984.
- HIPP, K. & HAAS, J. 2006. Calcimicrobial stromatolites at the Permian-Triassic boundary in a western Tethyan section, Bukk Mountains, Hungary. *Sedimentary Geology*, 185:239-253.
- IESPA, A.A.C. 2010. O *Plexo Estromatólito-Trombólito-Oncoide, Lagoa Salgada, RJ, Brasil*. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 105p.
- IESPA, A.A.C. 2006. *Estudo geomicrobiológico da Lagoa Pernambuco, Região dos Lagos (Estado do Rio de Janeiro)*. Dissertação (Mestrado em Geologia), Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 116p.
- KILE, D.E.; EBERL, D.D.; HOCK, A.R. & REDDY, M.M. 2000. An assessment of calcite crystal growth mechanisms based on crystal size distributions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64:2937-2950.
- LOPES, C.E.A. 1988. *Estudo em laboratório de absorção do metal cobre pelo tapete de algas bênticas da lagoa Vermelha - Município de Araruama - Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestrado em Geoquímica), Universidade Federal Fluminense, Niterói. 56p.
- MINGXIANG, M. 2007. Revised classification of microbial carbonates: complementing the classification limestones. *Earth Science Frontiers*, 14(5) 222-234.
- NEHZA, O. & WOO, K.S. 2006. The effect of subaerial exposure on the morphology and microstructure of stromatolites in the Cretaceous Sinyangdong Formation, Gyeongsang Supergroup, Korea. *Sedimentology*, 53:1121-1133
- NOFFKE, N. & PATERSON, D. 2008. Microbial interactions with physical sediment dynamics, and their significance for the interpretation of Earth's biological history. *Geobiology*, 6:1-4.

- PAPINEAU, D.; WALKER, J.J.; MOJZSIS, S.J. & PACE, N.R. 2005. Composition and structure of microbial communities from stromatolites of Hamelin Pool in Shark Bay, western Australia. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(8):4822-4832.
- PLANAVSKY, N. & GREY, K. 2008. Stromatolite branching in the Neoproterozoic of the centralian superbasin, Australia: an investigation into sedimentary and microbial control of stromatolite morphology. *Geobiology*, 6:33-45.
- SHAPIRO, R.S. & AWRAMIK, S.M. 2006. Favosamaceria cooperi new group and form: a widely dispersed, time-restricted thrombolite. *Journal of Paleontology*, 80(3):411-422.
- SHEEHAN, P.M. & HARRIS, M.T. 2004. Microbialite resurgence after the Late Ordovician extinction. *Nature*, 430:75-78.
- SILVA e SILVA, L.H.; SRIVASTAVA, N.K.; IESPA, A.A.C & DAMAZIO, C.M. 2007. Evidência de oncoídes recentes na Lagoa Salgada, norte do estado do Rio de Janeiro, sudeste brasileiro. *Revista Universidade Guarulhos, Geociências*, 6(1):201-206.
- SILVA e SILVA, L.H.; DAMAZIO, C.M. & IESPA, A.A.C. 2005. Composição cianobacteriana em trombólitos da Lagoa Pitanguinha (Holoceno), Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *GAEA*, 1(2):75-81.
- TURCQ, B.; MARTIN, L.; FLEXOR, M.; SUGUIO, K.; PIERRE, C. & ORTEGA, L.T. 1999a. Origin and evolution of the quaternary coastal Plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. *In: ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY OF COASTAL LAGOON SYSTEMS*, Rio de Janeiro, Brazil. Rio de Janeiro, UFF, p.25-46.
- TURCQ, P.F.M.; BARBOSA, J.A. & PEREIRA, J.R. 1999b. Chemical, physical and biological characterization of surficial sediments in the Araruama Lagoon. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY IN TROPICAL COUNTRIES*, 3, Nova Friburgo, Resumo, Rio de Janeiro, p.4.
- WEISSERT, H.; JOACHIMSKI, M. & SARNTHEIN, M. 2008. Chemostratigraphy. *Newsletters on Stratigraphy*, 42: 145-179.
- ZAMAGNI, J.; KOSIR, A. & MUTTI, M. 2009. The first microbialite – coral mounds in the Cenozoic (Uppermost Paleocene) from the Northern Tethys (Slovenia): Environmentally triggered phase shifts preceding the PETM? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 274:1-17.
- ZARZA, A.M.A. 2010. Petrologia sedimentaria. Nota de teoria. Rocas carbonáticas: Carbonatos marinos y continentales. *Reduca (Geologia) Serie Petrologia Sedimentaria*, 2(3):89-101.